ISAAC ASIMOV

LUCES EN EL CIELO

Traducción de
ARTURO CASALS

EDITORIAL SUDAMERICANA
BUENOS AIRES

IMPRESO EN LA ARGENTINA
PRINTED IN ARGENTINA

Título del original en inglés:

«QUASAR, QUASAR, BURNING BRIGHT»

Scan: Ren
OCR/Corrección: Xixo
2da. Corrección: Ren
Edición digital: Junio 2004

Dedicado a la memoria de
Edmond Hamilton (1904-1977)

INTRODUCCIÓN

Esta es mi decimotercera colección de ensayos científicos tomados de «The Magazine of Fantasy and Science Fiction»*, y para cada una de las doce anteriores escribí una introducción.*

Doce introducciones diferentes... y ahora tengo que escribir una decimotercera. El problema es que pensar en algo que ya no haya dicho en alguna de las doce anteriores empieza a parecerme una tarea imposible. Incluso me parece un trabajo inaceptable echar un vistazo a los doce primeros libros para ver qué había dicho antes.

Así que me senté a tomar la taza de café que mi esposa, Janet, había tenido la tolerancia de prepararme (ella bebe té), y dije reflexivamente:

—No tengo la menor idea de cómo presentar mi nueva colección de ensayos científicos.

—¿Por qué no escribes algo sobre el significado de «ensayo»? —dijo ella.

—Magnífico —dije apresurándome a terminar el café, y aquí estoy frente a la máquina de escribir.

Durante muchos años ha sido costumbre de las revistas de ciencia-ficción incluir entre las narraciones algún trabajo informativo relacionado con la ciencia. En parte esto respondía a un cambio de tónica y en parte, creo yo, al deseo de enfatizar que la ciencia-ficción, en sus mejores expresiones, se toma la ciencia en serio y los lectores del género están dispuestos a aceptar una dosis directa de vez en cuando.

Generalmente, los trabajos no narrativos se distinguían de los cuentos presentándolos como «artículos».

Cuando empecé a escribir mi trabajo científico mensual para «The Magazine of Fantasy and Science Fiction»*, hace tantos años, cuando tenía poco más de treinta*[1]*, pensaba en ellos como «artículos científicos». Gradualmente, sin embargo, cambié de apreciación y empecé a considerarlos no artículos sino «ensayos científicos».*

El verbo «ensayar» significa «intentar» o «tratar», aunque hoy día parezca algo anticuado y rara vez se lo utilice. Uno «ensaya una tarea», por ejemplo.

También se puede utilizar el sustantivo, de modo que «uno hace el ensayo de hacer algo», tal como «se hace la tentativa», pero ese uso parece aun más anticuado.

Una de las razones por las que el verbo «ensayar» se ha vuelto anticuado y se utiliza menos es por la competencia que le presenta el sustantivo «ensayo» utilizado para designar el tipo de trabajo que se encuentra en este libro. En este sentido fue inventado alrededor de 1580 por el escritor francés Michel Eyquem de Montaigne (1533-1592).

*Llamó a sus trabajos cortos «ensayos» (*essais*, en francés) precisamente porque los consideraba tentativas modestas para abordar un tema. Sus piezas eran breves y sencillas, en*

[1] Curiosamente, hoy en día sigo teniendo poco más de treinta.

vez de largas, detalladas y abstrusas lucubraciones. Abarcaban un tópico menor, no todo un campo del conocimiento. Eran tentativas vacilantes para considerar algún aspecto de un tema tras algunas horas de meditación en vez del producto definitivo de toda una vida de pensamiento.

Ante todo, sin embargo, ante todo, un ensayo se distingue de los trabajos más formales y expositivos por el toque personal. En un ensayo el autor no vacila en incluirse a sí mismo; de hecho, en caso contrario no sería un ensayo. No hace falta insistir en esto si el ensayo es subjetivo y trata primordialmente de los pensamientos y emociones del escritor, pero aun si el ensayo es objetivo y trata, por ejemplo, de un fenómeno científico, el «yo» se entromete y tiene que entrometerse.

Escribir un ensayo puede parecer fácil. Uno simplemente se sienta y divaga un poco. No tiene que ser formal porque se supone que es informal. No tiene que ser muy abstruso porque se supone que es un enfoque sencillo del asunto. Y no tiene que provocar parálisis mentales mediante un exceso de concentración pues se supone que hay que distraer con apartes o bromas o cualquier cosa que a uno se le ocurra. ¿Qué podría ser más fácil?

Sin embargo, hacer cosas fáciles puede resultar muy difícil. A un actor le lleva mucho tiempo (y considerable talento) aprender a actuar tan naturalmente como si no estuviera actuando. Escribir como si uno divagara, pero, sin embargo, guiar al lector al centro del asunto, requiere también una considerable habilidad.

De manera que para escribir un ensayo es necesario:

- *Tener algo que decir.*
- *Saber decirlo informalmente, pero decirlo.*
- *Aprender a actuar con la naturalidad necesaria para zambullirse en el ensayo sin embarazo ni titubeos torpes.*

Aunque el don de escribir ensayos es algo difícil de conseguir, una vez que se adquiere es el género más agradable para el escritor. Una novela es un largo viaje cuidadosamente planeado según los antojos personales; un tratado es un largo viaje cuidadosamente planeado con instrumentos de investigación; pero un ensayo es un placentero vagabundeo mientras se echa una ojeada a lo que hay a ambos lados del camino.

Y este libro es una serie de trabajos de esa clase, igual que mis anteriores colecciones de ensayos.

Ensayo la defensa de la ciudad de Nueva York a mi manera, que consiste en el estudio de ciertas estadísticas interesantes sobre las ciudades.

Ensayo una celebración del Bicentenario de los Estados Unidos, describiendo cómo la nación ascendió de pequeña comunidad rural a líder tecnológico del mundo, y de paso ensayo una ejemplificación de una de mis creencias favoritas: que todo cambio histórico significativo no es ni más ni menos que cambio tecnológico.

Ensayo una consideración de por qué hay edades de hielo y cómo se descubrieron los agujeros negros y cuál es el objeto más brillante del mundo. En el capítulo final incluso ensayo un ataque (una vez más y desde un nuevo ángulo) contra las flaquezas de la humanidad.

Pero ensaye lo que ensaye, los ensayos en cierto sentido son un logro, pues yo logro divertirme al escribirlos y espero que ustedes se diviertan de igual modo al leerlos.

ISAAC ASIMOV
Ciudad de Nueva York

I

NUESTROS ÁTOMOS

1

¡SORPRESA! ¡SORPRESA!

Ya he dicho esto en varias ocasiones y lugares, pero tengo buenas razones para repetirlo. ¿Quién sabe? Tal vez la gente a la larga termine por creerme.

Soy un individuo plácido que gusta de sentarse ante la máquina de escribir y golpear las teclas. Trabajo entre las ocho de la mañana y las diez de la noche, siete días por semana, con frecuentes interrupciones que trato de tolerar. Me cuesta irme de vacaciones y, al margen de diversas funciones biológicas y algunas relaciones sociales de vez en cuando, me urge hacer pocas cosas, salvo escribir.

Combinen esa aplicación (si quieren llamarla así... a menudo la he oído llamar locura) con una habilidad para escribir rápido y claramente, y el resultado es un promedio de 2.500 palabras por día (escritas y publicadas) durante un considerable número de años. No es un *record*, pero tampoco está mal.

Pero no hay ningún «secreto». La aplicación me viene sola, y no necesito someterme a una autodisciplina extenuante. Me gusta escribir. Y en cuanto a la habilidad, bueno, por lo que sé me viene de nacimiento.

Sin embargo hay demasiada gente que no lo acepta e insiste en que existe algún «secreto».

En una reunión a la que asistí recientemente, un joven me abordó y me dijo ansiosamente que había venido a la reunión precisamente porque deseaba conocerme. Era un escritor que estaba afanándose en alterar su estado de percepción para ir más lejos y parecerse más a mí. Por lo tanto me pidió que le describiera con lujo de detalles cómo hacía yo para alcanzar mi propio estado de percepción.

Le dije que no sabía exactamente qué quería decir con estado de percepción y que no estaba seguro de poseerlo.

—¿Quiere decirme que no se interesa usted en la expansión de la mente y los estados de conciencia alterados? —me dijo.

—No —repuse meneando la cabeza.

—¡Me sorprende! —dijo, y se alejó enfurecido.

¿Pero de qué se sorprendía? Él forcejeaba consigo mismo para parecerse más a mí, pero yo ya soy tan parecido a mí que no tengo por qué inquietarme.

Pues bien, a menudo la gente se sorprende ante cosas que no me parecen nada sorprendentes. Permítanme darles otro ejemplo, esta vez no de mi vida personal sino de la química.

Podemos empezar con la tabla periódica de los elementos. El primero en confeccionarla fue el químico ruso Dmitri Ivanovich Mendeleiev en 1869. Su estructura fue racionalizada por el físico inglés Henry Gwyn-Jeffreys Moseley, quien elaboró un modo de identificar inequívocamente cada elemento mediante números enteros que iban de 1 para arriba (número atómico)[2].

En el Cuadro 1 he preparado una forma de tabla periódica que, sólo utiliza los números atómicos. Cada uno de los 118 números atómicos incluidos en la tabla representa un elemento, pero por el momento no nos interesa cuál nombre corresponde a cuál número. Los números atómicos de la tabla están divididos en siete columnas o períodos verticales que he numerado

[2] La historia está contada con cierto detalle en *«Bridging the Gaps»* y *«The Nobel Price that Wasn't»*, en mi libro **«The Stars in their Courses»** (Doubleday, 1971).

utilizando números romanos para que no se confundan con los números atómicos, en caracteres arábigos.

La cantidad de elementos de cada período tiende a aumentar cuando ascendemos en la lista. En el período I hay sólo dos elementos; en los períodos II y III, ocho elementos en cada uno; en los períodos IV y V, dieciocho elementos en cada uno; en los períodos VI y VII, treinta y dos elementos en cada uno.

Funciona de este modo a causa de la disposición de los electrones dentro de los átomos, pero no tenemos por qué profundizar en eso en este ensayo (tema para otra vuelta, quizá).

Las reglas derivadas de la disposición de los electrones posibilitan ir más allá del período VII, en un sentido estrictamente teórico. Así los períodos VIII y IX contendrían cincuenta elementos cada uno; los períodos X y XI, setenta y dos elementos cada uno; los períodos XII y XIII, noventa y ocho elementos cada uno, etcétera.

Pero el hecho de que podamos escribir números indefinidamente, ateniéndonos a las reglas, no significa que sea necesariamente útil hacerlo. En la época de Mendeleiev, y también en la nuestra, todos los elementos conocidos se hallaban en los primeros siete períodos. Por lo tanto, por el momento no hay razones prácticas para que intentemos ir más allá.

Una característica importante de la tabla periódica es que dispone los elementos en grupos de propiedades químicas similares. Por ejemplo, los números atómicos 2, 10, 18, 36, 54 y 86 corresponden a los seis gases nobles conocidos[3]. Los números atómicos 3, 11, 19, 37, 55 y 87 (el número atómico 1 es un caso especial) corresponden a los metales alcalinos[4], etcétera. Cuando se descubre un nuevo elemento y se deduce su número atómico, tendrá por lo tanto que encajar en la tabla de tal modo que sus propiedades no resulten enteramente anómalas. Si se presentara semejante anomalía la tabla periódica vacilaría.

CUADRO 1. LA TABLA PERIÓDICA

I	***II***	***III***	***IV***	***V***	***IV***	***VII***
1	3	11	19	37	55	87
	4	12	20	38	56	88
			21	39	57	89
					58	90
					59	91
					60	92
					61	93
					62	94
					63	95
					64	96
					65	97
					66	98
					67	99
					68	100
					69	101
					70	102
					71	103
			22	40	72	104
			23	41	73	105

[3] Véase *«Welcome, Stranger»*, en **«Of Time and Space and Other Things»** (Doubleday, 1965).

[4] Véase *«The Third Liquid»*, en **«The Planet that Wasn't»** (Doubleday, 1976).

			24	42	74	106
			25	43	75	107
			26	44	76	108
			27	45	77	109
			28	46	78	110
			29	47	79	111
			30	48	80	112
	5	13	31	49	81	113
	6	14	32	50	82	114
	7	15	33	51	83	115
	8	16	34	52	84	116
	9	17	35	53	85	117
2	10	18	36	54	86	118

Hasta 1940 los seis primeros elementos del período VII eran conocidos y se dudaba dónde ubicados. Para explicar la dificultad, echemos un vistazo a los períodos VI y VII del Cuadro 2. Esta vez pongo los nombres de los elementos además de los números atómicos. Más aun, estoy incluyendo todos los elementos ahora conocidos hasta el 92 con dos o tres no descubiertos en 1940 o recién descubiertos y aún no confirmados.

Los elementos 87, 88 y 89, los tres primeros del período VII, no eran problema. Eran sin duda los análogos de los elementos 55, 56 y 57 del período VI y había que colocarlos al lado de éstos en la tabla. El problema lo presentaban los tres elementos conocidos después del 89. Estos eran el torio (90), el protactinio (91) y el uranio (92). ¿Dónde había que ubicarlos?

La incertidumbre surgía del hecho de que los elementos 57 al 71 inclusive del período VI forman un grupo de metales muy similares a los que comúnmente se aludía como «tierras raras»[5]. Los químicos presentían que las tierras raras eran únicas y tal vez una peculiaridad que sólo se presentaba en el período VI. Por lo tanto había cierta tendencia a saltear las posiciones de las tierras raras del período VII y a ubicar el torio (90) al lado del primer elemento que seguía a las tierras raras en el período VI, que era el hafnio (72). El protactinio (91) luego quedaba al lado del tántalo (73) y el uranio (92) al lado del tungsteno (74), según se muestra en el Cuadro 2.

CUADRO 2. LOS DOS ÚLTIMOS PERÍODOS

Período VI	***Período VII***
55. Cesio	87. Francio
56. Bario	88. Radio
57. Lantano	89. Actinio
58. Cerio	
59. Praseodimio	
60. Neodimio	
61. Prometio	
62. Samario	
63. Europio	
64. Gadolinio	
65. Terbio	

[5] Véase «*The Multiplying Elements*», en **«The Stars in their Courses»** (Doubleday, 1971).

66. Disprosio	
67. Holmio	
68. Erbio	
69. Tulio	
70. Iterbio	
71. Lutecio	
72. Hafnio	90. Torio
73. Tántalo	91. Protactinio
74. Tungsteno	92. Uranio
75. Renio	
76. Osmio	
77. Iridio	
78. Platino	
79. Oro	
80. Mercurio	
81. Talio	
82. Plomo	
83. Bismuto	
84. Polonio	
85. Astato	
86. Radón	

En realidad, era un error. Las tierras raras no eran peculiares del período VI. Un grupo análogo (cada vez más amplio y complejo) debe existir en cada período posterior, y por cierto en el VII.

Los químicos pudieron haber visto que el torio no era particularmente similar al hafnio por sus propiedades químicas, ni el protactinio al tántalo, o el uranio al tungsteno, pero antes de 1940 las propiedades químicas de estos elementos con número atómico elevado en verdad se desconocían. Fue sólo a partir de 1940, con el reciente hallazgo de la fisión del uranio, que se iniciaron las investigaciones apropiadas.

Fue también a partir de 1940 que los elementos con números atómicos superiores al 92 fueron formados en laboratorio y se vio que éstos se parecían al uranio por las propiedades químicas, así como las tierras raras se parecían entre sí. Esto significaba (según puntualizó por primera vez el químico norteamericano Gleen Theodore Seaborg) que al fin y al cabo había un segundo conjunto de tierras raras en el período VII. El orden que correspondía a los elementos, pues, era el del Cuadro 1 y no el del Cuadro 2.

El período VII puede ahora ser presentado como en el Cuadro 3, con los nombres de los elementos descubiertos hasta ahora (rutherfordio y hahnio no son, que yo sepa, nombres ya aceptados internacionalmente. Los rusos se atribuyen la prioridad del hallazgo. Al elemento 104, por ejemplo, lo llaman kurchatovio).

CUADRO 3. EL ÚLTIMO PERÍODO

87. Francio
88. Radio
89. Actinio
90. Torio
91. Protactinio

92. Uranio
93. Neptunio
94. Plutonio
95. Americio
96. Curio
97. Berquelio
98. Californio
99. Einstenio
100. Fermio
101. Mendelevio
102. Nobelio
103. Lawrencio
104. Rutherfordio
105. Hahnio
106.
107.
108.
109.
110.
111.
112.
113.
114.
115.
116.
117.
118.

Los dos grupos de tierras raras ahora se diferencian según el nombre del primer elemento de cada uno. Las tierras raras del período VI, del lantano (57) al lutecio (71) inclusive, son los «lantánidos». Las tierras raras del período VII, del actinio (89) al lawrencio (103) inclusive, son los «actínidos».

Los físicos nucleares han formado trece elementos además del uranio (92) y tratan de ir aun más allá para comprobar o refutar ciertas teorías que han desarrollado acerca de la estructura nuclear.

Todos los elementos conocidos con números atómicos superiores al 83 son radiactivos y no poseen isótopos no radiactivos. En general, cuanto más se eleva el número atómico, más se intensifica la radiactividad de los elementos, más breve es su duración y mayor su inestabilidad. La regla, sin embargo, no es sencilla. Algunos elementos de número atómico elevado son más estables que algunos de número atómico más bajo.

Así, el torio (90) y el uranio (92) son mucho más estables que el polonio (84). El isótopo de torio más estable tiene un período de semidesintegración de 14.000.000.000 años y el isótopo de uranio más estable tiene un período de semidesintegración de 4.500.000.000 años, de modo que estos elementos aun existen en considerable cantidad en la corteza terrestre, aunque han disminuido lentamente desde que se formó el planeta[6]. El isótopo de polonio, de mayor

[6] Véase *«The Uneternal Atoms»*, en **«Of Matter, Great and Small»** (Doubleday, 1975).

estabilidad, tiene por el contrario un período de sólo 100 años. Aun el californio (98) puede ganarle, pues uno de sus isótopos conocidos tiene un período de unos 700 años.

Los físicos nucleares pueden predecir estos niveles desparejos de estabilidad mediante ciertas reglas que han establecido con respecto a la disposición de protones y neutrones en el núcleo atómico. Estas reglas configuran una suerte de tabla periódica nuclear más compleja que la tabla común de los elementos. Si estas teorías son correctas, tendría que haber una región de estabilidad en las partes inferiores del período VII, donde se encontrarán elementos con isótopos que poseen períodos inusitadamente prolongados en números atómicos tan elevados (ver capítulo 2). La presencia o ausencia de semejante región será por lo tanto muy importante para la teoría.

Dentro de esta región de estabilidad están los elementos 112 y 114, así que veamos qué podemos decir sobre ellos, si algo puede decirse, echando un mero vistazo a la tabla periódica y valiéndonos de nociones de aritmética elemental (¿Por qué esos dos elementos en particular? Lo explicaré después; lo prometo).

Si consideramos primero el 112, veremos por el Cuadro 1 que está justo a la derecha del mercurio (80), del período VI. En realidad es el cuarto integrante, todavía no descubierto, del grupo cuyos tres primeros elementos conocidos son, por orden, el zinc (30), el cadmio (48) y el mercurio (80). Podemos llamar al 112 «eka-mercurio», siguiendo una convención iniciada por Mendeleiev, «Eka» es la palabra sánscrita que significa «uno» y el 112 es el elemento análogo al mercurio en el primer período posterior al del mercurio.

Este grupo de elementos, el «grupo del zinc», comparte propiedades similares. Más aun, como en todos los grupos semejantes dentro de la tabla periódica, ciertas propiedades tienden a cambiar en una dirección particular cuando ascendemos por la línea. Supongamos que consideramos los puntos de fundición y ebullición del grupo del zinc, por ejemplo. Esto se hace en el Cuadro 4, donde se muestran los puntos de fundición y ebullición en grados absolutos (A), o sea en el número de grados Celsio por encima del cero absoluto, que es de –273,1 grados centígrados (Un grado Celsio equivale a 1,8 veces un grado Fahrenheit, mucho más comúnmente usado en los Estados Unidos).

CUADRO 4. EL GRUPO DEL ZINC

Período	***Número atómico***	***Elemento***	***Punto de fundición (grados A)***	***Punto de ebullición (grados A)***
IV	30	Zinc	692,5	1180
V	48	Cadmio	594,0	1038
VI	80	Mercurio	234,2	629,7
VII	112	Eka-mercurio	?	?

En los tres integrantes conocidos del grupo, el punto de fundición y el de ebullición descienden a medida que el período asciende. Parece justo concluir que, si la tabla periódica tiene validez, el cuarto integrante del grupo tendría que poseer puntos de fundición y ebullición aun más bajos que los del mercurio.

¿Podemos deducir cifras reales? Sería difícil, pues como vemos la reducción de la temperatura no es regular. El punto de fundición del cadmio es 98,5 grados menor que el del zinc, pero el punto de fundición del mercurio es 359,8 grados menor que el del cadmio. Esa enorme diferencia entre el cadmio y el mercurio no puede repetirse entre el mercurio y el eka-mercurio, pues en tal caso el punto de fundición del último sería un número negativo que implicaría una temperatura inferior al cero absoluto, lo cual es imposible.

Sin embargo, en química orgánica los cambios de propiedades a menudo alternan en carácter cuando uno asciende por la escala de los análogos: cambio grande, cambio pequeño, cambio grande, cambio pequeño, etcétera. Un modo de solucionarlo es suponer que como el punto de fundición del mercurio es una determinada fracción del punto de fundición del zinc

(comparando elementos separados por dos períodos), el punto de fundición del eka-mercurio tendría que ser la misma fracción del punto de fundición del cadmio. Como el punto de fundición del mercurio es 0,338 veces el del zinc, si el punto de fundición del eka-mercurio es 0,338 veces el del cadmio equivaldría a unos 200 grados, lo cual es razonable.

Utilizando el mismo procedimiento para los puntos de ebullición, el punto de ebullición del eka-mercurio sería de unos 550 grados.

Ahora consideremos el 114, que está a la derecha del plomo (82) en la tabla periódica presentada en el Cuadro 1, y al que por lo tanto podemos denominar «eka-plomo». Es el integrante no descubierto del grupo cuyos seis miembros conocidos son el carbono (6), el silicio (14), el germanio (32), el estaño (50) y el plomo (82). Los puntos de fundición y ebullición de cada uno de los integrantes del «grupo de carbono» están dados en el Cuadro 5.

CUADRO 5. EL GRUPO DEL CARBONO

Período	***Número atómico***	***Elemento***	***Punto de fundición (grados A)***	***Punto de ebullición (grados A)***
II	6	Carbono	3800	5100
III	14	Silicio	1683	2628
IV	32	Germanio	1210	3103
V	50	Estaño	505	2543
VI	82	Plomo	600	2017
VII	114	Eka-plomo	?	?

Fíjense en los puntos de fundición. Existe una gran baja del carbono al silicio, una baja menor del silicio al germanio, una baja mayor del germanio al estaño, y después una baja tan pequeña entre el estaño y el plomo que es casi una elevación. Tomémoslos pues alternadamente y comparemos los puntos de fundición separados por dos períodos:

Carbono/germanio = 3800/1210 = 3,1
Silicio/estaño = 1683/505 = 3,3
Germanio/plomo = 1210/600 = 2,0

Me parece, mirando estas cifras, que una proporción atinada para estaño/eka-plomo sería de 2,5. Si dividimos el punto de fundición del estaño, 505 grados, por 2.5, obtenemos la cifra de unos 200 grados como punto de fundición del eka-plomo. Utilizando el mismo procedimiento para los puntos de ebullición, obtenemos una cifra de unos 2.400 grados para el eka-plomo.

Vayamos más lejos. Probemos con el 118, que es el séptimo de los gases nobles, entre los cuales los seis miembros conocidos son el helio (2), el neón (10), el argón (18), el criptón (36), el xenón (54), y el radón (86). El 118 sería el «eka-radón». Los puntos de fundición y ebullición de los gases nobles están suministrados en el Cuadro 6.

CUADRO 6. LOS GASES NOBLES

Período	***Número atómico***	***Elemento***	***Punto de fundición (grados A)***	***Punto de ebullición (grados A)***
I	2	Helio	0	4,5
II	10	Neón	24,5	27,2
III	18	Argón	83,9	87,4
IV	36	Criptón	116,6	120,8
V	54	Xenón	161,2	166,0
VI	86	Radón	202	211,3
VII	118	Eka-radón	?	?

En este caso, los puntos de fundición y ebullición se *elevan* a medida que ascendemos en los períodos. La elevación del helio al neón es de 24,5 grados, del neón al argón de 59,4 grados, del argón al criptón de 32,7 grados, del criptón al xenón de 44,6 grados, y del xenón al radón de 40,8 grados. Nótese la alternancia entre las elevaciones pequeñas y las grandes. Del radón al eka-radón habría una elevación grande de tal vez 50 grados, de modo que el punto de fundición del eka-radón sería de unos 250 grados.

El punto de ebullición es siempre apenas un poco más alto que el punto de fundición en los gases nobles, pero la diferencia se eleva ligeramente cuando uno asciende en los períodos. El punto de ebullición del eka-radón podría ser de unos 265 grados.

Ahora, pues, sinteticemos en el Cuadro 7 los datos que poseemos sobre el eka-mercurio, el eka-plomo, y el eka-radón. Podemos proporcionar los puntos de fundición[7] y puntos de ebullición no sólo en la escala absoluta, sino en la más familiar escala Celsio, y en la aun más familiar escala Fahrenheit. Para convertir grados absolutos a grados Celsio, sólo necesitamos sustraer 273. La conversión a grados Fahrenheit es más complicada, pero yo la haré y ustedes no tendrán que molestarse.

CUADRO 7. LOS ELEMENTOS EKA

Número atómico	***Elemento***	***Punto de fundición***			***Punto de ebullición***		
		A	***C***	***F***	***A***	***C***	***F***
112	Eka-mercurio	200	–73	–100	550	277	530
114	Eka-plomo	200	–73	–100	2400	2127	3860
118	Eka-radón	250	–23	–10	265	–8	18

Parecería, por el Cuadro 7, que a una temperatura ambiente ordinaria (a veces determinada en 293 grados A, que equivale a 20 grados centígrados, o 68 Fahrenheit) el eka-radón sería un gas, como todos los demás gases nobles. Sin embargo, sería más fácil de licuefacer y congelar que los otros gases nobles. Un día frío de invierno en Nueva York bastaría para licuefacer el eka-radón y un día frío de invierno en Maine bastaría para congelarlo.

El eka-plomo y el eka-mercurio serían líquidos a una temperatura normal en un cuarto, y en realidad en cualquier temperatura natural normal en cualquier parte de la superficie de la

[7] Un punto de fundición, cuando la temperatura se eleva, equivale a un punto de congelación cuando la temperatura desciende. Creí conveniente mencionarlo.

Tierra que no sea la Antártida. Un período muy frío en la zona más fría de la Antártida tal vez bastaría para congelarlos.

Los dos diferirían mucho, sin embargo, respecto de los puntos de ebullición.

El eka-mercurio, que hierve a 277 grados centígrados, herviría a una temperatura lo bastante baja para ser considerado «volátil». Y por cierto el mercurio, que tiene un punto de ebullición más alto, es considerado un volátil líquido por los químicos.

El mercurio tiene una presión de vapor considerable, o sea que en presencia del mercurio líquido hay vapor líquido mensurable en el aire. Esto se acentuaría más con el eka-mercurio, que tendría una presión de vapor más alta en temperaturas equivalentes. En pocas palabras, el eka-mercurio tendría las mismas propiedades del mercurio, sólo que más acentuadas, con la considerable excepción de que el eka-mercurio sería radiactivo mientras que el mercurio natural no lo es (La tabla periódica de los elementos no tiene nada que decir acerca de la radiactividad. Esa es una propiedad nuclear y es la tabla periódica nuclear la que trata ese aspecto).

El eka-plomo, por lo demás, tendría un punto de ebullición alto y no despediría una cantidad apreciable de vapor en el aire. Sería un líquido no volátil.

Otra especie de propiedad que podemos deducir de la tabla periódica se relaciona con la actividad química de un elemento, o sea, la facilidad de sus átomos para combinarse con átomos de otro elemento. A medida que esta facilidad decrece, podemos decir que los elementos exhiben cada vez menos actividad o cada vez mayor grado de inercia.

Generalmente, a medida que se asciende en la escala de períodos dentro de una familia de elementos determinada, hay una propensión sostenida a una actividad mayor o una inercia mayor. Así, en la familia de los gases nobles, los elementos se vuelven menos inertes y más activos a medida que ascendemos en la escala de los períodos. De los gases nobles conocidos, el helio es el más inerte y el menos activo. El radón es el menos inerte y el más activo, y el eka-radón, podemos estar seguros, sería todavía menos inerte y más activo.

Estos, sin embargo, son términos comparativos. El radón puede ser menos inerte que los otros gases nobles, pero es aun más inerte que cualquiera de los elementos que no son gases nobles, y lo mismo ocurriría con el eka-radón. El eka-radón bien podría llamarse un gas inerte.

En cuanto al grupo del zinc y al grupo del carbono, sus elementos son cada vez más inertes y menos activos a medida que se asciende en los períodos. El zinc es un metal muy activo; el cadmio lo es menos; el mercurio es del todo inerte. La inercia del mercurio es obvia; no se herrumbra cuando queda expuesto al aire sino que permanece lustroso y metálico; es demasiado inerte para reaccionar con el oxígeno en condiciones ordinarias. Aun cuando reacciona con otros elementos, las fuerzas que unen los átomos de mercurio a los otros átomos son relativamente débiles y fáciles de contrarrestar. En otras palabras, es fácil obtener mercurio elemental de los filones, y por eso el mercurio era uno de los elementos metálicos conocidos por los antiguos.

Naturalmente, es de esperar que el eka-mercurio sea aun más inerte que el mercurio; sin duda sería un líquido inerte.

El carbono, como elemento, es bastante inerte por una serie de razones, pero se le puede provocar una reacción. En el aire arde y forma un gran número de compuestos con otros átomos. El silicio se parece en ese sentido al carbono. El germanio es menos activo y forma compuestos con menos facilidad, y el estaño y el plomo son aun menos activos. El estaño y el plomo son lo suficientemente inertes para aferrarse con tanta debilidad de otros átomos que resultan fáciles de aislar. Por eso eran otros dos elementos metálicos también conocidos por los antiguos. El eka-plomo sería aun más inerte que el plomo y también sería un líquido inerte.

Ahora que los he traído hasta este punto en mis comentarios sobre la tabla periódica, les explicaré el porqué. Muy recientemente se han realizado cálculos en el *Lawrence Berkeley Laboratory*, California, que demuestran que los elementos 112, 114 y 118 son o bien gases o bien líquidos volátiles y son inertes.

Aparentemente los redactores del informe están sorprendidos; tildan la conclusión de «asombrosa».

Pero de nuevo pregunto, como en las observaciones preliminares de este ensayo: ¿de qué se sorprenden?

La conclusión no es de ninguna manera asombrosa. Estoy seguro de que los cálculos del laboratorio fueron más profundos, sofisticados y válidos que mis ligeros tanteos con la tabla periódica. Pero los resultados son similares y por lo tanto yo no diría que se trata de una «conclusión asombrosa» sino de una conclusión previsible.

El número del 27 de septiembre de 1975 de esa excelente publicación que es «Science News» dice respecto del informe del *Lawrence Berkeley Laboratory*: «Resulta un poco sorprendente, pues la mayor parte de los elementos transuránicos conocidos han sido sólidos metálicos».

«Science News» subestima la situación. *Todos* los elementos transuránicos conocidos son sólidos metálicos. No obstante, no hay necesidad de sorprenderse ante la presencia de líquidos o gases inertes en las posiciones 112, 114 y 118. Lo sorprendente en verdad sería lo contrario, pues se debilitaría la validez de la tabla periódica. Más aun, los resultados que hoy se informan se pudieron lograr, utilizando mis razonamientos en este ensayo, en cualquier momento a partir de 1940, cuando Seaborg indicó la disposición correcta del período VII.

En un punto, sin embargo, parezco no estar de acuerdo con el informe del LBL (aunque no he leído el texto original y por lo tanto no puedo estar del todo seguro).

Los informes de segunda mano que leí parecen indicar que según el informe el eka-plomo (114) es un líquido volátil. Bien, admito que el 112 (eka-mercurio) y el 118 (eka-radón) son volátiles, pero niego que el eka-plomo también lo sea. El eka-plomo es un líquido, sí, pero no volátil.

Si una cantidad suficiente del elemento se llega aislar mientras aún vivo para llegar a una demostración concluyente (cosa que lamentablemente dudo), me interesaría saber quién tiene razón, si el LBL o yo. Apuesto a que yo.

2

LA ISLA MÁGICA

Nunca fui muy bueno en mis cursos de laboratorio. Sean cuales fueren mis talentos, no incluyen la destreza para el trabajo experimental. Los profesores que de alguna manera se cruzaron por mi vida lo descubrieron tempranamente y reaccionaron de diferentes maneras.

En un extremo estaba Charles Reginald Dawson, del Departamento de Química de la *Universidad de Columbia*, quien supervisó mi trabajo para el doctorado. Una vez que me porté más torpemente que de costumbre, me dijo con el tono gentil que siempre le fue característico: «De acuerdo, Isaac. De ser necesario, conseguiremos a alguien que haga los experimentos por ti. Tú sigue teniendo las ideas».[8]

En el otro extremo estaba Joseph Edward Mayer, también de *Columbia*, con quien tomé un curso de laboratorio sobre físico-química en 1940. Me puso una nota muy baja en el informe sobre un experimento relacionado con la elevación del punto de ebullición de las soluciones.

Esto no me sorprendió demasiado pues mis expectativas en trabajo de laboratorio nunca fueron demasiado altas, pero pensé que me convenía hablar con el profesor Mayer para llegar a un trato. Le llevé mi informe y él lo releyó con paciencia. Yo estaba preparado para que me dijera que había hecho el experimento chapuceramente y que había reunido los datos irreflexivamente. Pero no fue eso lo que me dijo. El profesor Mayer me miró y dijo: «El problema con usted, Asimov, es que no sabe escribir».

Lo miré un momento, horrorizado. Dios sabe que no a todo el mundo le gusta el material que produzco y que un número abrumadoramente grande de personas me lo ha dicho en la cara, pero nunca nadie me dijo seriamente que yo no sabía escribir. Salvo el profesor Mayer.

Era un insulto que no podía tolerar y perdí todo interés en discutir mi informe. Recogí los papeles y antes de marcharme le dije, tan rígida y altivamente como pude: «Le agradeceré, profesor Mayer, que no repita esa calumnia a mis editores».

Aprobé el curso, desde luego, pero creo que nunca más volví a dirigirle la palabra al profesor Mayer.

El profesor Mayer ha hecho una distinguida carrera como físico-químico, pero su mayor mérito consiste en haberse casado con una física, María Goeppert, en 1930. Se aferró al apellido de ella uniéndolo al propio con un guión de por medio, de modo que ella llegó a ser conocida como María Goeppert-Mayer, y con ese nombre compartió el premio Nobel de física de 1963.

Cuando los diarios anunciaron la noticia, tuve la típica reacción egocéntrica que puede esperarse de un escritor. Dije: «¿Qué te parece? Goeppert-Mayer acaba de recibir un premio Nobel, y sin embargo el marido una vez me dijo que yo no sabía escribir».

Bueno, en realidad no pensé nunca que, el error de juicio del marido la descalificara a ella, así que perdonemos y olvidemos y hablemos del trabajo que le conquistó el premio.

Empezaremos considerando los núcleos de los átomos de los diversos elementos. Cada núcleo atómico de un átomo en particular está compuesto por un número de protones más (salvo en los núcleos más simples) un número de neutrones.

Para cada elemento particular, el número de protones del núcleo atómico es fijo y no puede variar. Por ejemplo, todos los núcleos de oxígeno tienen exactamente 8 protones. Si por algún motivo se pierde un protón, el núcleo ya no es de oxígeno sino de nitrógeno. Si por algún

[8] Nunca he dejado de agradecer al profesor Dawson ésta y muchas otras amabilidades.

motivo se gana un protón, el núcleo ya no es de oxígeno sino de flúor. El número de protones característico de los núcleos de un elemento determinado es el «número atómico» de ese elemento.

El número de neutrones presente en los núcleos atómicos de un elemento dado puede, sin embargo, variar hasta cierto punto. Un núcleo de oxígeno puede contener 8, 9 o 10 neutrones. En cada uno de estos casos, el núcleo de oxígeno resultante es estable. O sea que, librado a sí mismo, permanecerá inalterado por un período indefinido de tiempo, presumiblemente para siempre.

Estas tres variedades de núcleos de oxígeno son «nucleidos» y podemos identificarlos de acuerdo con el número total de partículas —protones más neutrones— que contienen. Podemos decir que el oxígeno-16, el oxígeno-17 y el oxígeno-18 son los tres nucleidos de oxígeno estables, y 16, 17 y 18 son los respectivos «números de masa» de dichos nucleidos.

Son posibles otros nucleidos de oxígeno. Un núcleo de oxígeno, además de los 8 protones, podría tener sólo 7 neutrones o aun sólo 6; podría tener tantos como 11 o aun 12. Estos nucleidos, sin embargo el oxígeno-14, el oxígeno-15, el oxígeno-19 y el oxígeno-20, son todos inestables. Si uno de tales nucleidos llega a existir, se disgrega espontáneamente, aun librado a sí mismo, en cuestión de segundos.

Desde luego, no todos los nucleidos inestables de los diversos elementos se disgregan en segundos, ni siquiera en años. Algunos nucleidos no son de veras estables, pero sin embargo duran billones de años antes de que la mayoría de los núcleos se disgreguen.[9] Para los propósitos de este artículo, consideraremos tales nucleidos efectivamente estables, pues algunos de ellos permanecen intactos desde su creación muchos eones atrás.

La próxima pregunta es: ¿cómo se comparan otros elementos con el oxígeno en el número de nucleidos estables que poseen?

La respuesta es que algunos elementos tienen más nucleidos y otros tienen menos. Hagamos, sin embargo, una pequeña clasificación.

Encontramos que los elementos de número atómico impar, o sea los elementos con un número impar de protones en el núcleo, no se destacan por la cantidad de nucleidos estables o cuasiestables que poseen. El potasio, con un número atómico de 19, tiene tres. Todos los demás tienen dos o menos.

La situación es muy diferente con los elementos con un número par de protones. Mientras los tres con los números pares más pequeños tienen sólo uno o dos nucleidos estables (el berilio tiene sólo uno y el helio y el carbono sólo tienen dos cada uno), todos los demás hasta el número atómico 82 incluido tienen tres o más nucleidos estables o cuasiestables.

En general, pues, podemos concluir que un núcleo con un número par de protones se encuentra en una situación más estable que los que tienen un número impar. Hay más nucleidos con un número par de protones que nucleidos con un número impar de protones, y los de número par son más comunes en la naturaleza. De hecho, casi todos los nucleidos de número par tienen también un número par de neutrones y los nucleidos con número par de protones y neutrones son mayoría en el universo, si excluimos el caso especial del hidrógeno.[10]

He discutido esto en mi artículo «Ganan los pares»[11], pero vayamos un poco más lejos. ¿Cuál elemento posee el número mayor de nucleidos estables?

La respuesta es el estaño, que no tiene menos de diez nucleidos estables. El estaño tiene un número atómico de 50, y parece que un nucleido con 50 protones posee una configuración tan estable que el número de neutrones presentes puede variar ampliamente sin alterar la estabilidad del núcleo.

¿Hay pues algo inusual relacionado con el número 50? Consideremos los núcleos atómicos de 50 neutrones. ¿Cuántos nucleidos diferentes que posean 50 neutrones son estables? La respuesta es seis, una cifra inusitadamente alta.[12]

---

[9] Véase *«The Uneternal Atoms»*, en **«Of Matter Great and Small»** (Doubleday, 1975).

[10] El nucleido de hidrógeno más simple, el hidrógeno-1, tiene un núcleo conformado solamente por un protón. Un núcleo de una sola partícula tiene que ser más estable que cualquier combinación de partículas, así que no es sorprendente que un 90 por ciento de los átomos del Universo sean de hidrógeno-1 y que el porcentaje fuera mayor aun en los días tempranos del Universo. En este artículo hablamos sólo de núcleos compuestos y es indudable que en ciertos aspectos ciertos núcleos compuestos son más estables que el hidrógeno-1.

[11] *«The Evens Have It»*, en **«View from a Height»** (Doubleday, 1963).

Así que hay dieciséis variedades de nucleidos estables que poseen o bien 50 protones o bien 50 neutrones.

El número cincuenta parece tan misteriosamente significativo con respecto a la estabilidad de la estructura nuclear que en 1949 el físico alemán J. Hans Daniel Jensen (que eventualmente compartió el premio Nobel con Goeppert-Mayer) utilizó la expresión «número mágico» para referirse a él. En mi opinión es pernicioso, pues la palabra «mágico» no debería usarse en un contexto científico, y más tarde Jensen introdujo la expresión *shell number* («número estructural»), que es mucho mejor. Sin embargo el término no tuvo suerte. Los científicos son humanos y «número mágico» es tanto más dramático que hasta a mí me gusta usarlo.

¿Hay otros números mágicos? Si el 50 bate los *records* en estabilidad de protones, ¿qué ocurre con la estabilidad de los neutrones? ¿Hay algún número neutrónico que esté representado en más de seis nucleidos estables? Sí, hay *siete* nucleidos estables, desde el xenón-136 (54 protones, 82 neutrones) hasta el samario-144 (62 protones, 82 neutrones), que tienen 82 neutrones en sus núcleos.

Más aun, hay cuatro nucleidos estables con 82 protones en los núcleos (que representan el elemento plomo). Cuatro tal vez no parezca mucho, pero 82 protones representa prácticamente el límite de la estabilidad posible. Hay sólo un nucleido estable con 83 protones y ninguno que sobrepase ese número y sea totalmente estable (aunque hay tres que son cuasiestables). Que haya cuatro nucleidos estables de 81 protones es pues bastante notorio, y si eso se añade a los siete nucleidos de 82 neutrones, podríamos sospechar que 82 también es un número mágico.

Entre los nucleidos con menos partículas (donde las posibilidades de variación son en general más limitadas) hay un número sorprendente que tiene o bien 20 neutrones (cinco de ellos) o bien 20 protones (otros cinco), de modo que podríamos considerar al 20 número mágico.

Otra manera de juzgar la estabilidad es considerando la abundancia de nucleidos particulares en el Universo en general. No estamos seguros de cómo se formaron exactamente los diversos nucleidos. Presumiblemente el Universo comenzó como un conjunto de nucleidos de hidrógeno-1 (meros protones) más posiblemente un puñado de nucleidos de composición simple como el hidrógeno-2, el helio-3 y el helio-4.

A través de varias reacciones nucleares acaecidas en el centro de las estrellas, nucleidos atómicos más complejos se forman y son irradiados por las explosiones estelares. En general, cuanto más complejo es el núcleo menos abunda en escala cósmica, pero esta relación no es del todo constante.

Sea cual fuere el origen de los nucleidos, los que son más estables se forman más fácilmente y se disgregan con mayor dificultad. Por lo tanto se acumulan en cantidades mayores.

Entre los nucleidos que aparecen en el Universo en grado notoriamente mayor que los demás nucleidos de análoga complejidad están los siguientes: el helio-4 (2 protones y 2 neutrones), el oxígeno-16 (8 protones y 8 neutrones), el silicio-28 (14 protones y 14 neutrones), el calcio-40 (20 protones y 20 neutrones), y el hierro-56 (26 protones y 30 neutrones).

La mera abundancia tal vez no es una prueba demasiado sutil, pues la presencia de números mágicos quizá no sea el único factor que incide. Los físicos nucleares también lo enfocan desde otra perspectiva. Analizan la predisposición de un núcleo determinado para absorber un neutrón. Cuanto menos predispuesto esté, más satisfecho estará con su combinación presente y más probable será que posea un número mágico. Además, ciertos núcleos, si se los excita y energiza, sueltan un neutrón. Lo hacen con más facilidad si el número de neutrones que poseen supera en uno a un número mágico.

Si unimos todos los datos parecería que el 14, el 26 y el 30 no son números mágicos y que el silicio-28 y el hierro-56 deben su abundancia a otros factores. Los números mágicos son 2, 8, 20, 28, 40, 50 y 82, ya para los protones o los neutrones. Más allá ambas partículas difieren. Un número mágico alto para los protones es 114; para los neutrones, 126 y 184.

---

[12] Para los curiosos, los nucleidos estables de 50 neutrones son el criptón-86, el rubidio-87 (que es ligeramente inestable), el estroncio-88, el itrio-89, el circonio-90 y el molibdeno-92.

¿Por qué son mágicos esos números? Cada cual por su cuenta, Goeppert-Mayer en 1948 y Jensen en 1949 elaboraron un «modelo estructural» del núcleo que en 1963 les permitió compartir el premio Nobel. Los protones y neutrones, de acuerdo con este modelo, existen en estructuras concéntricas, cada cual mayor que la que contiene. Un núcleo es particularmente estable si los protones, o neutrones, o más particularmente ambos, existen en estructuras o subestructuras completas, y por eso «número estructural» es el término más adecuado.

Hay dos nucleidos con el número mágico 2: el helio-3 y el helio-4. El helio-3 tiene 2 protones y 1 neutrón mientras el helio-4 tiene 2 protones y 2 neutrones. La doble participación del número mágico hace del helio-4 el nucleido compuesto más estable que existe. De los átomos de helio del Universo sólo aproximadamente uno en un millón es helio-3, y cuando un núcleo complejo se reduce a algo más simple, con frecuencia lo hace irradiando un núcleo intacto de helio-4 (una «partícula alfa»). De hecho, el helio-4 es más estable en muchos sentidos que el hidrógeno-1, y es la tendencia a desplazarse del hidrógeno-1 al helio-4 lo que da energía a las estrellas y lo que hace que nuestro Universo sea como es.

Hay cuatro nucleidos estables que contienen o bien 8 protones o bien 8 neutrones y de éstos es el oxígeno-16 (8 protones y 8 neutrones) el que contiene la doble dosis. En el Universo el número de nucleidos de oxígeno-16 equivale por lo menos a la cantidad de todos los nucleidos restantes multiplicada por trescientos.

Hay no menos de diez nucleidos con el número mágico 20. También aquí el más común en el Universo es el que tiene una doble dosis, el calcio-40, que contiene 20 protones y 20 neutrones.

Aquí, sin embargo, entra un nuevo factor. Entre los nucleidos más pequeños, los más abundantes y luego los más estables son los que poseen igual número de protones y neutrones. Los dos tipos de partículas, sin embargo, no se amalgaman de una manera precisamente igual.

Todas las partículas de un nucleido se mantienen unidas gracias a la «interacción nuclear», pero mientras no hay nada que la contrarreste en las combinaciones neutrón-neutrón o neutrón-protón, las cosas cambian en las combinaciones protón-protón.

Entre dos protones existe una repulsión mediatizada por la «interacción electromagnética». Esto sucede sólo entre partículas con carga eléctrica, pues el protón tiene carga eléctrica pero el neutrón no.

En distancias cortas, como las que afectan a los nucleidos más pequeños, la fuerza nuclear es mucho más potente que la fuerza electromagnética y esta última carece de importancia. La fuerza nuclear, sin embargo, se desvanece rápidamente con la distancia, mientras que la fuerza electromagnética tarda en desvanecerse. Por lo tanto, a medida que el núcleo aumenta de tamaño, produce un efecto de repulsión que tiende a disgregar el nucleido y es contrarrestado cada vez con mayor dificultad por la fuerza nuclear, que se debilita prontamente.

En consecuencia, cuando un nucleido aumenta de tamaño, el número de neutrones que contiene debe empezar a sobrepasar cada vez más al número de protones. Un número mayor de neutrones incrementa la atracción de la fuerza nuclear sin incrementar la fuerza de repulsión electromagnética.

El calcio-40 es el nucleido estable más grande con un número igual de protones y neutrones. Más allá de eso, el exceso de neutrones aumenta constantemente. El estaño-120, por ejemplo, contiene 50 protones y 70 neutrones: un exceso de 20 neutrones. El nucleido estable más masivo es el del bismuto-209, conformado por 83 protones y 126 neutrones, con un exceso neutrónico de 43.

Cualquier nucleido con más de 83 protones no puede ser estable, aparentemente, no importa, cuántos neutrones se le añadan. La fuerza electromagnética ejercerá su repulsión y el núcleo se disolverá tarde o temprano, disgregándose. Tres de los nucleidos conocidos con números atómicos de más de 83 son cuasiestables y en consecuencia todavía existen en la corteza terrestre. De éstos, el más masivo es el uranio-238, que contiene 92 protones y 146 neutrones, con un exceso neutrónico de 54.

Más allá del calcio-40, pues, no podemos esperar dosis dobles de un número mágico especial que confiera estabilidad. Puede haber dosis dobles, pero en esos casos los protones participan de un número mágico y los neutrones de otro número mágico más alto.

Hay diez nucleidos estables con el número mágico 28 ya en protones o neutrones, nueve con 40, dieciséis con 50, once con 82. También hay un nucleido con el número mágico 126, que sólo es aplicable a los neutrones.

De estos nucleidos estables, exactamente tres tienen dosis dobles de números mágicos. Son el calcio-48 con 20 protones y 28 neutrones, el circonio-90, con 40 protones y 50 neutrones, y el plomo-208, con 82 protones y 126 neutrones.

El calcio-48 no es del todo estable, pero su período de semidesintegración se acerca a varias decenas de quintillones de años, así que podemos considerarlo estable.

Si el calcio-48 no tuviera una doble dosis de números mágicos, es muy probable que fuera absolutamente inestable. Es el más masivo de los nucleidos de calcio estables y tiene un exceso neutrónico de 8. Este es un exceso neutrónico extraordinariamente alto para un núcleo tan pequeño. El nucleido estable que le sigue en tamaño con un exceso neutrónico tan alto es el níquel-64, con 28 protones y 36 neutrones.

El poder, de los números mágicos resalta aun más si consideramos la proporción entre neutrones y protones. En el calcio-45, la proporción de neutrones y protones es 1,4, o sea que hay 1,4 neutrones por cada protón. El níquel-64 puede tener un exceso neutrónico de 8, pero su proporción neutrón/protón es de sólo 1,29. Sólo cuando llegamos al selenio-82 (34 protones y 48 neutrones) alcanzamos una proporción neutrón/protón más alta que la del calcio-48.

Aunque hay diez nucleidos que poseen o bien 40 protones o bien 50 neutrones, sólo el circonio-90 posee ambas cosas. No debería sorprendemos, pues, descubrir que el circonio-90 es el que más abunda en la naturaleza.

Eso nos lleva al último nucleido de doble dosis, el plomo-208.

El plomo-208 es el segundo de los nucleidos estables más masivos. Le sigue al bismuto-209 sólo por una unidad. Sin embargo, en el plomo-208 hay 82 protones y 26 neutrones, con un exceso neutrónico de 44, que es 1 punto mayor que el del bismuto-209. En verdad, es el exceso neutrónico más grande entre todos los nucleidos estables.

En el plomo-208 la proporción neutrón/protón es 1,537, más elevada que la proporción del bismuto, que es de 1,518. El plomo-208 no bate el *record* entre los nucleidos estables, pues el mercurio-204, con 80 protones y 124 neutrones, tiene una proporción neutrón/protón de 1,550. Sin embargo, el mercurio-204 alcanza sólo una quinceava parte de la totalidad de los nucleidos de mercurio, mientras que el plomo-208 abarca más de la mitad de los nucleidos de plomo. En el Universo en general, el número de nucleidos de plomo-208 es diez veces mayor que el de nucleidos de mercurio-204.

Supongan que se traza una curva que muestra el número de protones frente al número de neutrones entre los nucleidos estables. Los protones aumentan constantemente a medida que ascendemos, los neutrones aumentan constantemente a medida que avanzamos hacia la derecha.

Entre los nucleidos más simples, sólo serían estables aquellos cuyo número de protones y cuyo número de neutrones sean iguales o casi equivalentes. Obtendríamos pues una línea gruesa que empezaría en el origen y formaría un ángulo de 45 grados respecto de la horizontal. A medida que los nucleidos se complejizan, el exceso neutrónico se incrementa cada vez más, de manera que la línea empieza a curvarse hacia abajo y acercarse más a la horizontalidad. Eventualmente la línea se vuelve borrosa. Aun si se incluyen los nucleidos cuasiestables, la línea no va más allá de la marca de 92 protones.

Esta gruesa línea de estabilidad a veces es denominada la «península de la estabilidad», y se la representa rodeada por el «mar de la inestabilidad», que está integrado por todos los nucleidos que tienen muy pocos neutrones o demasiados neutrones para conservar juntos a los protones, o bien demasiados protones para que cualquier número de neutrones los mantenga unidos.

La península de la estabilidad puede ser descripta en una tercera dimensión. Podemos imaginar a cada nucleido ubicado a cierta altura por encima del diagrama, una altura proporcional a la extensión de su estabilidad de acuerdo con algunas de sus propiedades. Naturalmente, esos nucleidos que contienen cierto número mágico de protones, neutrones, o

más particularmente de ambos, representarán picos de altitud. Los científicos románticos por lo tanto denominaron ciertas regiones de la península de la estabilidad con nombres tales como «risco mágico» y «montaña mágica».

La península no es realmente sólida. Por ejemplo, no hay nucleidos estables de tecnecio (número atómico 43) o de prometio (número atómico 61). Eso significa que las líneas verticales que representan 43 protones o 61 protones carecen de nucleidos estables. Nunca supe de ninguna denominación para estas líneas vacías, pero me tomaré el atrevimiento de inventarles una: «estrechos protónicos de inestabilidad». Además no hay nucleidos estables con un número de neutrones de 19, 35, 39, 45, 61, 89, 115 y 123, y éstos, según el mismo criterio, representarían «estrechos neutrónicos de inestabilidad».

Es interesante que no haya nucleidos estables o cuasiestables que contengan 61 protones o 61 neutrones, de modo que el 61 parecería un «número antimágico» (la nomenclatura también es mía).

Si miramos el extremo superior de la península de la estabilidad, vemos que se diluye. Más allá de los 83 protones hay un ancho estrecho de inestabilidad, pues no hay nucleidos estables o cuasiestables con números protónicos de 84 a 89 inclusive. Después hay un nucleido cuasiestable con 90 protones (el torio-232) y dos con 92 protones (el uranio-235 y el uranio-238).

Podríamos denominar a esta súbita prominencia en el mar de la inestabilidad la «isla de torio-uranio» (de nuevo la nomenclatura es mía).

¿Pero qué hay más allá del uranio? En el último tercio de siglo los físicos nucleares han elaborado penosamente nucleidos más complejos que los del uranio, avanzando a través de números atómicos más y más altos, hasta llegar, como en la actualidad, a producir nucleidos de hasta 106 protones (y, desde luego, un número considerablemente más alto de neutrones).

La totalidad de estos nucleidos de trasuranio son inestables, aunque unos pocos de los más pequeños, como el neptunio-237 (93 protones y 144 neutrones) y el plutonio-244 (94 protones y 150 neutrones) tienen períodos de semidesintegración de millones de años. La estabilidad tiende a disminuir con el aumento del número atómico. Para los nucleidos realmente complejos, los períodos son de minutos o menos.

Pero al ir más allá del uranio aún no hemos encontrado un nuevo número mágico. Más allá del número atómico 82 (el plomo) no encontramos un nuevo número mágico para los protones hasta que llegamos al 114. Más allá del número neutrónico de 126 (el que hallamos en el plomo-208), el próximo número mágico más elevado para los neutrones es 184. ¿Qué ocurre, pues, si llegamos a un nucleido hecho de 114 protones y 184 neutrones?

Un elemento con un número atómico de 114 sería «eka-plomo», pues estaría justo debajo del plomo en la tabla periódica (véase el capítulo 1) y por lo tanto estamos hablando del nucleido eka-plomo 298. Con una doble dosis de números mágicos, ¿el eka-plomo-298 no sería más estable que los otros nucleidos que están entre él y el uranio? Aunque no fuera completamente estable, ¿no podría ser cuasiestable, lo suficiente para que se hallen pequeñas cantidades aún existentes en la corteza terrestre?

Otros nucleidos en las cercanías del eka-plomo-298 también podrían ser cuasiestables, de manera que del mar de la inestabilidad, mucho más allá de la isla de torio-uranio emergería otra isla de estabilidad, o una «isla mágica» de «nucleidos superpesados».

Y ahora, por primera vez, se ha presentado alguna evidencia a favor de la existencia de la isla mágica.

En ciertas muestras de la mica mineral transparente obtenida en Madagascar hay unos pequeños discos negros llamados «halos». Estos fueron advertidos por primera vez en la década de 1880 y ahora se sabe que proceden de la inclusión en la mica de fragmentos pequeños de minerales radiactivos que contienen torio y uranio. Los núcleos de torio y uranio explotan de vez en cuando, despidiendo partículas alfa que penetran la mica hasta determinada distancia y la decoloran.

El tamaño de la mayor parte de los halos se corresponde con la energía y poder de penetración de las partículas alfa de los núcleos del torio y el uranio. Sin embargo, uno de cada mil halos resulta demasiado grande. Cada cual requeriría partículas alfa con el doble de poder de penetración de las que existen en la naturaleza.

Un grupo de físicos encabezado por Robert V. Gentry de Oak Ridge, Tennessee, especuló que pequeñas cantidades de nucleidos superpesados eran la causa de los halos gigantes. Bombardeaban los halos gigantes con protones de baja energía en circunstancias que producían rayos X al chocar con los núcleos. La longitud de onda de los rayos dependería del número atómico de los núcleos involucrados, y si se detectaran ciertas longitudes de onda eso equivaldría al hallazgo de núcleos superpesados.

Tales longitudes de onda de hecho fueron detectadas en cantidades diminutas, y quizá esto represente el primer desembarco de los Colones de la física nuclear en la isla mágica.

(Nota: El ensayo precedente fue escrito en agosto de 1976. Desde entonces, diversas investigaciones emprendidas por varios grupos no lograron confirmar los hallazgos de Oak Ridge. En realidad, parece que se hubieran malinterpretado ciertos datos. Los superpesados no han sido descubiertos. Eso no significa, sin embargo, que no pueda descubrírselos en el futuro, ya en la naturaleza o en el laboratorio, y que no puedan resultar asombrosamente estables. No nos queda más remedio que esperar).

II

NUESTRAS CIUDADES

3

¡ES UNA CIUDAD MARAVILLOSA!

Cuando cumplí once años, mi padre me regaló un ejemplar del **«Almanaque Mundial 1931»**: yo se lo había pedido. De todos los regalos que jamás recibí, creo que ése es el que recuerdo con más claridad. Leí el texto y usé las estadísticas para hacer gráficos con barras, círculos y líneas para divertirme.

Con ese libro más un fajo de papel cuadriculado, una regla, un compás y un lápiz de dos colores (rojo y azul), mis padres pudieron quedarse tranquilos (salvo cuando yo trabajaba en la tienda de caramelos) por lo menos la mitad de un año. No se podía pedir más por una inversión total de un dólar del año 1931.

Nunca me recobré de mi fascinación por los almanaques y acabo de adquirir el «Almanaque Mundial 1976» (por no mencionar el último **«Reader's Digest Almanac»** y el **«CBS News Almanac»**).

Si se hojea un almanaque escrupulosa y creativamente, siempre se puede obtener más información de la que uno cree. Entre otras cosas, siempre se puede reordenar la información de manera que algún aspecto de su contenido se vuelva más evidente.

Y les sorprenderá ver lo que descubren. Dejen que les muestre...

Cualquier almanaque les brindará la población de los cincuenta Estados norteamericanos y el Distrito de Columbia, a veces con el detalle de cada censo decenial. A veces enumeran los Estados por orden alfabético, a veces según el orden de la población actual. Considero que la segunda alternativa es mucho más útil.

Si se mira una lista de los Estados norteamericanos en orden de población, como por ejemplo en el **«Reader's Digest Almanac»** de 1970, se ve de inmediato que hay siete Estados que poseen una población más reducida que la del Distrito de Columbia. Hay cuarenta y dos Estados con una población inferior a la de la ciudad de Nueva York, y sólo ocho Estados, incluido el de Nueva York, con poblaciones mayores que la de la ciudad de Nueva York.

Si consideramos las cifras de población estimadas para el 19 de julio de 1974 (las más recientes que tengo) encontramos que prácticamente uno de cada diez norteamericanos vive en California. También encontramos que más de la mitad de los norteamericanos vive en los nueve Estados más populosos. California tiene una población mayor que la de todos los diecinueve Estados menos poblados. Pero como este es el *Año del Bicentenario* hagamos algo un poco complicado, relacionado con el año mágico de 1776.

Cuando Estados Unidos se declaró independiente, consistía en trece Estados y tenía una población aproximada de 2.600.000 (El primer censo no se realizó hasta 1790, catorce años después, y en ese momento la población era de 3.929.000).

Desde luego, en tiempos de la independencia los trece Estados trazaban sus límites con un criterio mucho más generoso que hoy en día. Seis de ellos reclamaban las tierras al oeste de los Apalaches y hasta el Mississippi. Virginia, en particular, declaraba la posesión de un área que comprendía un total de 354.000 millas cuadradas, el 40 por ciento de los territorios de la Nación después de la independencia, y un 10 por ciento de su superficie actual.

Tales declaraciones fueron abandonadas, en los primeros años de la República y carecen de importancia. En realidad, los límites de los trece Estados originales en 1776 eran sustancialmente diferentes de los de hoy en sólo tres aspectos decisivos:

- Maryland incluía el territorio que hoy configura el Distrito de Columbia. El Distrito fue cedido al Gobierno Federal para que allí se instalara la capital en 180l.

- Massachusetts incluía lo que hoy es el Estado de Maine. Maine no se transformó en estado hasta 1820.
- Virginia incluía lo que es ahora el Estado de Virginia Oeste. Los Condados de Virginia Oeste se separaron de Virginia en el comienzo de la Guerra Civil, o mejor dicho, rehusaron separarse de los Estados Unidos como el resto de los Condados de Virginia. Virginia Oeste fue reconocido como Estado aparte en 1863.

La pregunta, pues, es cuál es en la actualidad la población de los trece Estados originales (incluidas las zonas que les pertenecían en 1776). Es fácil responderla (ver Cuadro 8), pero nunca he visto en ninguna parte un cuadro similar.

CUADRO 8. LOS TRECE ESTADOS ORIGINALES

Estado	***Población***		***Tasa de crecimiento***
	1974 (est.)	***1776 (est.)***	***1974/1776***
1. Nueva York	18.111.000	233.000	77,7
2. Pennsylvania	11.835.000	298.000	39,7
3. Nueva Jersey	7.330. 000	127.000	57,7
4. Massachusetts (y Maine)	6.847.000	328.000	20,9
5. Virginia (y Virginia Oeste)	6.700.000	515.000	13,0
6. Carolina del Norte	5.363.000	270.000	19,9
7. Georgia	4.882.000	57.000	85,6
8. Maryland (y Distrito Columbia)	4.817.000	220.000	21,9
9. Connecticut	3.088.000	212.000	14,6
10. Carolina del Sur	2.784.000	171.000	16,3
11. Rhode Island	937.000	47.500	19,7
12. Nueva Hampshire	808.000	97.000	8,3
13. Delaware	573.000	40.500	14,1
Total	***74.075.000***	***2.616.000***	***28,3***

Como puede verse, Virginia y Massachusetts, que en tiempos de la Revolución eran respectivamente el primero y segundo en población (no es de extrañar que fueran los líderes políticos de las colonias) ahora son los números cuatro y cinco, y los tres Estados del Medio Atlántico son los que encabezan la lista.

Los tres Estados del Medio Atlántico y Georgia son los únicos de los trece originales que han incrementado su población a una tasa superior a la media de los trece. Georgia era un Estado fronterizo y sólo una pequeña porción de su superficie actual estaba colonizada en 1776; su tasa superior a 85 es comprensible.

El incremento de población del Estado de Nueva York a una tasa de casi 78 se debe a la tremenda expansión de la ciudad de Nueva York. Nueva York no era la ciudad más grande de la Nación en tiempos de la independencia. El honor pertenecía a Filadelfia, que tenía una población de unos 33.000 habitantes contra los 25.000 de Nueva York. El cambio fue determinado por la inauguración del Canal de Erie en 1825. Después de eso, Nueva York se transformó en lugar de tráfico obligado para el comercio y en los dos siglos de existencia de la Nación la ciudad aumentó su población 315 veces, mientras que Filadelfia la aumentó 60.

En cuanto a la población total de los trece Estados, ahora es un 35 por ciento de la población de los Estados Unidos, aunque la superficie de estos Estados sólo abarca un 10 por ciento de la superficie total del país.

Incidentalmente, los seis Estados originales que más tarde se contarían entre los Estados esclavistas —Delaware, Maryland, Virginia, Carolina del Norte, Carolina del Sur y Georgia— contaban en 1776 con un 49 por ciento de la población total de los trece Estados, pero sólo con

un 34 por ciento en 1974. No creo que la razón sea otra que un desarrollo inhibido por las consecuencias sociales y económicas de la esclavitud.

Habiendo mencionado la ciudad de Nueva York, quiero pasar ahora a las ciudades de los Estados Unidos.

Casi siempre podemos encontrar una lista de ciudades norteamericanas por orden de población en los diversos almanaques, pero encontrar datos sobre sus superficies es otra cosa. La mayoría de la gente no piensa en la superficie de las ciudades, pues las ciudades generalmente se representan en los mapas como puntos o pequeños círculos. Cuando los mapas señalan las ciudades con círculos de diferentes formas o tamaños destacan sobre todo las más populosas o las más significativas políticamente. Nunca se presta demasiada atención a las superficies.

Desde luego, la superficie de una ciudad es algo muy artificial. El límite de una ciudad puede ser alterado por votación. Y los suburbios a veces son incluidos por razones fiscales o mero afán de poder. Pero el hecho de que los límites urbanos sean artificiales significa que las cifras de población también lo son. Una zona contigua a los límites urbanos bien puede formar parte de la vida social y económica de la ciudad en sí.

Afortunadamente, el **«Reader's Digest Almanac»** de 1970 trae las superficies de las 130 ciudades norteamericanas más populosas, y esto puede sernos muy útil. La superficie de la ciudad de Nueva York, por ejemplo, es de 299,7 millas cuadradas[13].

La ciudad de Nueva York cubre una superficie bastante grande que equivale casi a la cuarta parte del Estado de Rhode Island. Considerando que la población de Nueva York equivale a 2,3 veces la de la ciudad que le sigue en población en los Estados Unidos, parecería lógico suponer que es también la más vasta en superficie, pero no es así. Sucede que hay siete ciudades norteamericanas (cuéntenlas, siete) con una superficie mayor que la de Nueva York.

Una de ellas, como muchos recordarán, es Los Ángeles, pero Los Ángeles no es la ciudad más grande de Estados Unidos en cuanto a la superficie. Hay tres que la superan, pues en los años recientes han extendido sus límites arbitrariamente. ¿Cuánta gente adivinaría, si se les preguntara desprevenidamente, que la ciudad más grande de los Estados Unidos en términos de superficie es Jacksonville, Florida? Bien, su superficie equivale a 2,55 veces la de Nueva York.

Aquí tenemos pues otro cuadro, el Cuadro 9, de un tipo que nunca he visto antes en ninguna parte. Es una lista de las veintisiete ciudades norteamericanas que tienen una superficie de más de 100 millas cuadradas (las «Ciudades grandes»), tomada de la lista de las ciudades más populosas de los Estados Unidos presentada por el **«Reader's Digest Almanac»**. La lista es por tamaño, en orden decreciente.

CUADRO 9. LAS CIUDADES GRANDES

Ciudad	***Superficie (en millas cuadradas)***
l. Jacksonville, Florida	766,0
2. Oklahoma City, Oklahoma	635,7
3. Nashville, Tennessee	507,8
4. Los Ángeles, California	463,7
5. Houston, Texas	433,9
6. Indianapolis, Indiana	379,4
7. San Diego, California	316,9
8. Nueva York, Nueva York	299,7

[13] Aquí tendría que utilizar kilómetros cuadrados, pero los almanaques norteamericanos todavía usan millas cuadradas y el pueblo norteamericano todavía piensa en millas cuadradas. Odio hacer todas las conversiones, pero pueden hacerlo ustedes si lo desean. Multipliquen el número de millas cuadradas por 2,59 y obtendrán kilómetros cuadrados. La superficie de Nueva York es de 299,7 x 2,59 = 776,2 kilómetros cuadrados.

9. Dallas, Texas	265,6
10. Phoenix, Arizona	247,9
11. Chicago, Illinois	222,6
12. Virginia Beach, Virginia	220,0
13. Memphis, Tennessee	217,4
14. Fort Worth, Texas	205,0
15. Nueva Orleáns, Luisiana	197,1
16. San Antonio, Texas	184,0
17. Tulsa, Oklahoma	171,9
18. Detroit, Michigan	138,0
19. San José, California	136,2
20. Columbus, Ohio	134,6
21. Atlanta, Georgia	131,5
22. Filadelfia, Filadelfia	128,5
23. El Paso, Texas	118,3
24. Mobile, Alabama	116,6
25. Huntsville, Alabama	109,1
26. Columbia, Carolina del Sur	106,2
27. Corpus Christi, Texas	100,6

Jacksonville, dentro de sus límites actuales, tiene un 63 por ciento de la superficie del Estado de Rhode Island. Las veintisiete «Ciudades grandes» suman una superficie total de poco menos de 7.000 millas cuadradas, que equivale a la suma de las superficies de Connecticut y Delaware.

Por supuesto, casi todas las «Ciudades grandes» están ubicadas al oeste del Mississippi, donde la tierra era más barata que en el Este más urbanizado. Seis de ellas están en Texas. Las dos «Ciudades grandes» de la región nordeste de la nación son Nueva York y Filadelfia. La ciudad más populosa que no es «Ciudad grande» es Baltimore, Maryland, que tiene una población de 906.000 pero una superficie de sólo 78,3 millas cuadradas.

Obviamente, si una ciudad se extiende demasiado puede terminar abarcando muchos terrenos baldíos, de modo que la población es relativamente escasa. Por otra parte, una ciudad de poca superficie puede sin embargo estar atestada de gente.

Lo que podemos hacer es calcular la densidad de población, el número de habitantes por milla cuadrada. Por ejemplo, Jacksonville tiene 528.865 habitantes en su superficie de 766 millas cuadradas, de acuerdo con el censo de 1970, lo que nos da una densidad de 690 habitantes por milla cuadrada[14]. La ciudad de Paterson, Nueva Jersey, por otra parte, tiene una superficie de sólo 8,4 millas cuadradas, pero sus limitados contornos encierran 144.814 pobladores. Paterson tiene 17.240 habitantes por milla cuadrada. Su densidad equivale a veinticinco veces la de Jacksonville.

No intentaré, sin embargo, preparar un cuadro de densidad que abarque todos los poblados y ciudades de Estados Unidos. Creo que bastará considerar las seis ciudades norteamericanas con una población de más de un millón de habitantes (las «Ciudades grandes») y enumerarlas no por orden de población, sino por orden de densidad de población, como en el Cuadro 10.

[14] Si dividen las cifras de densidad por 2,59 obtendrán el número de habitantes por kilómetro cuadrado. Así, la densidad de población de Jacksonville es de 600/2,59 = 266 habitantes por kilómetro cuadrado.

CUADRO 10. LAS GRANDES CIUDADES

Ciudad	***Población (1970)***	***Superficie (mil. cuad.)***	***Densidad (por mil. cuad.)***
1. Nueva York	7.897.563	299,7	26,347
2. Filadelfia	1.950.098	128,5	15,175
3. Chicago	3.369.359	222,6	15,136
4. Detroit	1.513.601	138,8	10,968
5. Los Angeles	1.232.802	463,7	6,099
6. Houston	2.809.596	433,9	2,841

Como ven, Nueva York es la más densamente poblada de las «Ciudades grandes». Su densidad equivale a 9,3 veces la de Houston. De hecho, casi puede afirmarse que no hay ciudad norteamericana de ningún tamaño con una densidad de población que se acerque siquiera a la de Nueva York. Sin duda, es posible deducirlo solamente del hecho de que ninguna otra ciudad está tan atiborrada con edificios de departamentos como Nueva York, y que en ninguna otra ciudad la gente vive en tantas capas horizontales sobre el mismo terrón de suelo.

Si deseamos incluir ciudades extranjeras, sin embargo, el próspero Oriente tiene también algunos hormigueros, aunque sin el lujo de los edificios de departamentos. Consideren Macao, por ejemplo, que generalmente se ofrece como un caso asombroso de densidad de población. Macao es una ciudad china, cerca de Cantón, que es dominio portugués. Tiene una superficie de apenas 5,99 millas cuadradas, de acuerdo con un censo de 1970. De modo que la densidad de población de Macao es de unos 41.500 habitantes por milla cuadrada, o sea, 1,5 vez la de Nueva York.

Sin embargo, ahora estamos hablando de densidades de población generales, y dentro de cualquier ciudad hay siempre zonas relativamente atestadas y zonas relativamente vacías. No siempre es fácil parcelar una ciudad en Distritos individuales que tengan sentido para comparar las densidades, pero en el caso de Nueva York no hay problema.

La ciudad de Nueva York se divide en cinco Distritos, y cada cual es un Condado del Estado de Nueva York. Los Distritos separados —Manhattan, Bronx, Brooklyn, Queens y Staten Island— son bastante conocidos por el resto del país pues con frecuencia se los menciona en libros, obras, películas, canciones, etcétera.

Cada Distrito es de por sí una zona bien poblada. Cuatro de ellos, de hecho, se contarían entre las «Ciudades grandes» si se los considerara aisladamente, y uno sería una «Ciudad grande». El Cuadro 11 muestra cómo sería una lista de las «Ciudades grandes» norteamericanas si los cinco Distritos de la ciudad de Nueva York fueran ciudades independientes.

CUADRO 11. LAS GRANDES CIUDADES (NUEVA YORK DIVIDIDA)

Ciudad	***Población (1970)***
l. Chicago	3.369.359
2. Los Angeles	2.809.359
3. Brooklyn	2.602.012
4. Queens	1.987.174
5. Filadelfia	1.950.098
6. Manhattan	1.539.233
7. Detroit	1.513.601
8. Bronx	1.471.701
9. Houston	1.232.802

Ahora limitémonos a los distritos y preparemos el Cuadro 12, que muestra la densidad de población de cada uno.

CUADRO 12. LOS DISTRITOS DE NUEVA YORK

Distrito	***Población (1970)***	***Superficie (mil. cuad.)***	***Densidad (por mil. cuad.)***
l. Manhattan	1.539.233	22	69,965
2. Brooklyn	2.602.012	70	37,171
3. Bronx	1.471.701	40	36,793
4. Queens	1.987.174	105	18,925
5. Staten Island	295.443	63	4,690

Como pueden ver, la Isla de Manhattan tiene una densidad de población que equivale a 1,7 veces la de Macao y conserva esa densidad en una superficie que equivale a 3,67 veces la de Macao.

Otro modo de abordarlo es éste. Manhattan es el Condado más pequeño de los Estados Unidos. El Condado más grande del país es San Bernardino, California, que tiene una superficie de 20.119 millas cuadradas. Equivale a 914 veces la de Manhattan, y en realidad es casi como la del Estado de Virginia Oeste. Ese Condado enorme, sin embargo, está compuesto ante todo por el desierto de Mojave y su población total es de 681.535, menos de la mitad que la diminuta Isla de Manhattan.

Más aun, no consideremos como punto de partida de la densidad de población de Manhattan a sus *residentes* (entre quienes estamos mi esposa y yo), los que viven allí en medio de la noche. Durante el día, afluye gente a Manhattan de los Distritos vecinos, de Westchester, Long Island, Nueva Jersey y Connecticut. Sospecho que la densidad de población de Manhattan al mediodía sobrepasa la cifra de 100.000 habitantes por milla cuadrada.

Una densidad de 100.000 personas por milla cuadrada es algo difícil de visualizar. Si el Estado de Delaware (el segundo en tamaño entre los más pequeños del país) tuviera esa densidad, contendría a toda la población de Estados Unidos. Si el Estado de Kentucky tuviera esa densidad, contendría a todos los hombres, mujeres y niños de la Tierra.

Dudo que haya alguna parte en el mundo donde la densidad de población sea más alta que en Manhattan en condiciones ordinarias, o que *pueda* serlo, en el nivel actual de la tecnología. Si hay zonas de Tokio o Shanghai (las únicas dos ciudades con poblaciones mayores que la de Nueva York) con densidades de población más altas, podríamos preguntarnos si al mismo tiempo el *standard* de vida es el mismo que el de Manhattan. En este sentido, la Isla de Manhattan es la producción más asombrosa de la especie humana. En ninguna parte de la superficie terrestre, ni ahora ni nunca, una densidad de población tan alta ha sido acompañada por un *standard* de vida tan elevado en una superficie tan vasta, y, físicamente, en ninguna parte de la superficie de la Tierra, ni ahora ni nunca, el hombre ha construido nada comparable a los rascacielos de Manhattan, ese vasto complejo de estructuras enormes e intrincadas. En relación, las Pirámides y la Gran Muralla no son más que lo que son: grandes amontonamientos de roca muerta.

Considérese también que, por diversas razones históricas, Nueva York ha atraído a una increíble variedad de gentes, lenguas y culturas: algo que tampoco se ha visto nunca, ni en el presente ni en el pasado. Las grandes ciudades de la antigüedad eran sólo susurros premonitorios, aun las más grandes. Y en cuanto a las poblaciones de Tokio y Shanghai, que superan a la de Nueva York en términos numéricos, cada cual configura una masa homogénea: una lengua, una cultura. Sólo Nueva York casi logra contener dentro de sí todo el variado esplendor de la humanidad.

Nueva York, como dice el título de la comedia musical «es una ciudad maravillosa». Sí, pero quizá esté agonizando.

La ciudad de Nueva York no es un país, así que no puede tener Policía de frontera. No puede impedir que la gente, emigre a los suburbios o a California. No puede impedir el ingreso de los indigentes.

Muchos miles de inmigrantes han entrado a los Estados Unidos por el puerto de Nueva York, han sido ayudados, educados, recibieron trabajo y se iniciaron en el modo de vida americano. Las multitudes, los departamentos misérrimos, los trabajos agotadores, no eran el nirvana, ¿pero dónde habrían estado mejor? Los inmigrantes se abrieron paso y sus hijos y nietos salieron adelante, y abandonaron Nueva York por lugares más verdes.

La Puerta de Oro se cerró a todos salvo a un puñado de inmigrantes hace medio siglo (apenas un año después que llegué *yo*), pero ahora hay muchos miles de «inmigrantes» que llegan a Nueva York desde otras zonas del país. También son indigentes; también necesitan ayuda; pero ahora Nueva York sufre problemas financieros y no puede ayudarlas, y además nadie quiere ayudarlas. Ya no es el portal al sueño norteamericano, y la gente se ríe de la ciudad por intentarlo. «Irresponsabilidad fiscal».

Lo lamentable es que temo que entre quienes se ríen y burlan de Nueva York están algunos de los descendientes de europeos que en Nueva York aprendieron cómo ser norteamericanos, y se mofan sin sentirse obligados a retribuir ni a dispensar a otros el bien que recibieron sus padres y abuelos.

Nueva York no es la única ciudad del país que sufre las desdichas acarreadas por los cambios posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Es la ciudad más grande, la que tiene el corazón más blando, y por lo tanto el blanco más fácil. Pero no hay que engañarse: es una punta de lanza. Adonde va ella, ira la Nación... Para salvar a la Nación hay que salvar a Nueva York.

Consideremos la nueva oleada de inmigrantes que ingresó a Nueva York desde la Segunda Guerra Mundial. Un alto porcentaje eran negros e hispánicos en busca de una vida mejor, al igual que mis padres hace medio siglo.

Nueva York es hoy la ciudad negra más grande del mundo. La ciudad negra más grande de África es Kinshasa, Zaire, que tiene una población de 1.623.760. Pero la ciudad de Nueva York alberga a 1.666.636 negros (Ojo, no confío en la cifra hasta el último dígito, y tal vez haya un error de por lo menos diez mil).

Nueva York ha incrementado progresivamente su población negra desde la última Guerra Mundial, igual que todas las ciudades grandes de Estados Unidos. Consideremos (en el Cuadro 13) las ciudades que albergan más de 100.000 negros (suman veinticinco) y enumerémoslas por orden según el porcentaje de pobladores negros de 1970 y comparémoslo con el porcentaje de pobladores negros de 1960. Nunca he visto un cuadro similar en ninguna parte, pero para confeccionarlo utilizaré los datos del **«CBS News Almanac»** de 1976 (Y nótese que el porcentaje de negros en la totalidad del país es de 11,1).

CUADRO 13. PORCENTAJE DE POBLADORES NEGROS

Ciudad	***Población negra (1970)***	***Porcentaje de negros***	
		1970	***1960***
1. Washington, Distrito Columbia	537.712	71,1	53,9
2. Newark, Nueva Jersey	207.458	54,2	34,0
3. Atlanta, Georgia	255.051	51,3	38,2
4. Baltimore, Maryland	420.210	46,4	34,7
5. Nueva Orleans, Luisiana	267.308	45,0	37,2
6. Detroit, Michigan	660.428	43,7	28,9
7. Birmingham, Alabama	126.388	42,0	39,6
8. Richmond, Virginia	104.766	42,0	41,8
9. St. Louis, Missouri	251.191	40,9	28,6

10. Memphis, Tennessee	242.513	38,9	37,0
11. Cleveland, Ohio	287.841	38,3	28,6
12. Oakland, California	124.710	34,5	22,8
13. Filadelfia, Filadelfia	653.791	33,6	26,4
14. Chicago, Illinois	1.102.620	32,7	22,9
15. Cincinnati, Ohio	125.070	27,6	21,6
16. Houston, Texas	316.551	25,7	22,9
17. Dallas, Texas	210.238	24,9	19,0
18. Jacksonville, Florida	118.158	22,3	52,6
19. Kansas, Missouri	112.005	22,1	17,5
20. Nueva York, Nueva York	1.666.636	21,2	14,0
21. Pittsburgh, Filadelfia	104.904	20,2	16,7
22. Indianapolis, Indiana	134.320	18,0	20,6
23. Los Angeles, California	503.606	17,9	13,5
24. Boston, Massachusetts	104.707	16,3	9,0
25. Milwaukee, Wisconsin	105.088	14,7	8,4

Las únicas dos ciudades donde el porcentaje de negros decayó durante la década del sesenta son Jacksonville e Indianápolis. Ambas ciudades, sin embargo, extendieron sus límites en la última década, creo, incorporando vastas áreas suburbanas blancas, de modo que las cifras de los dos años no son comparables.

En otros lugares, podemos ver que el porcentaje de negros aumenta rápidamente, en parte porque los negros se desplazan a las ciudades desde las zonas rurales y en parte porque los blancos se desplazan de las ciudades a los suburbios. En realidad, la emigración blanca es con frecuencia mayor que la inmigración negra, de modo que la población de algunas de las «ciudades grandes» de los Estados Unidos en realidad disminuye.

Como ejemplos, entre 1950 y 1970 la población de Cleveland descendió de 915.000 a 751.000 y la de Boston de 801.000 a 641.000. Esto implica una pérdida de población de 324.000 para ambas ciudades, mientras que la población del país aumentó en 52.000.000 en esas dos décadas.

Como quienes emigran de las ciudades son los prósperos y quienes inmigran a ellas los indigentes, la mayoría de las ciudades norteamericanas descubren que cada vez reciben menos dinero por impuestos y deben gastar más dinero en salarios, servicios y bienestar de la población.

¿De dónde vendrá el dinero?

Tal vez de ninguna parte. Las zonas rurales y los pueblos pequeños tradicionalmente han desdeñado las ciudades y desconfiado de ellas, y como los pueblos pequeños y las zonas rurales siempre han contado proporcionalmente con mayor número de representantes en las diversas legislaturas estatales, e incluso en el Congreso, las ciudades normalmente tienen menos respaldo estatal y nacional.

Las zonas rurales y pueblos pequeños han desempeñado un papel cada vez menos importante en la vida norteamericana, sin duda alguna. En 1776 un 95 por ciento del total de la población era rural, mientras que en 1960 sólo un 30 por ciento no vivía dentro o cerca de una ciudad de más de 50.000 habitantes. En 1970 la cifra de población rural se había reducido a un 26,5 por ciento.

Las ciudades, sin embargo, no ganaron a medida que las zonas rurales perdían. Fueron los suburbios los que ganaron: los suburbios afluentes que dependen de las ciudades en el plano económico pero, como Pilato, se lavan las manos de los problemas urbanos.

Cada vez más, aunque rara vez se mencione en voz alta, la división entre el suburbio y la ciudad es la división entre blancos y negros, entre sajones e hispanos, entre ricos y pobres. Ya no se considera elegante en los Estados Unidos decir improperios sobre los negros, los

portorriqueños y los pobres (salvo entre amigos, desde luego), pero en cambio se dicen improperios sobre las ciudades, y eso puede hacerse en voz alta en los mejores círculos.

Y una ciudad en particular, frente a los cambios nacionales (y aun internacionales, si vamos a hablar de la escasez de energía y la inflación), ha cometido el torpe intento de conservar las pautas de días más idealistas. Ha tratado de ser más generosa con los pobres y los empleados que otras ciudades y ofrecer más servicios que otras. Naturalmente, el proceso la llevó a la quiebra y el Presidente de la Nación ha incluido en su campaña política incitar a la gente a que se ría de Nueva York. Se burla de la ciudad dentro y fuera del país, y se niega a colaborar.

Qué diablos, tiene razón; el bote no hace agua de su lado[15].

---

[15] Sin embargo, sí. Este ensayo fue escrito en noviembre de 1975. Un año más tarde, en noviembre de 1976, el Presidente Gerald Ford se presentó como candidato para ser reelegido. En la ciudad de Nueva York obtuvo pocos votos. El margen de Jimmy Carter en la ciudad de Nueva York le dio el Estado de Nueva York, y la votación electoral del Estado de Nueva York derrotó a Ford.

III

NUESTRA NACIÓN

4

SALIENDO DEL PASO

Conozco a una mujer que es hija de un científico célebre, pero que una vez se enfureció cuando la presenté como tal. Quería valer por sí misma, y contaba con todas las oportunidades para hacerlo, pues antes de casarse su apellido era común y cuando se casó le quedó completamente alterado. Sólo hacía falta que nadie hablara de más.

Mi propia hija, bella, rubia, de ojos azules (actualmente universitaria y soltera) no tiene esta oportunidad porque el apellido la delata de inmediato. Afortunadamente no le importa, en parte porque me tiene afecto y en parte porque esa relación es óptima para romper el hielo cuando conoce nuevos amigos. En realidad, ella ha transformado ese manejo en un arte. Recientemente me llamó por larga distancia (con la llamada a mi cargo, desde luego) para contarme un ejemplo especialmente espectacular.

La escena es en alguna parte de Harvard Square. Mi hija, Robyn, y un par de amigas intercambian bromas con (presumo) algunos estudiantes de Harvard y se presentan:

ROBYN *(agradablemente)*: Y yo soy Robyn Asimov.
JOVEN *(con creciente agitación)*: Eh, no irás a decirme que eres pariente de Isaac Asimov. ¿No será tu tío, no?
ROBYN *(burlonamente)*: Claro que no es mi tío.
JOVEN (desinflándose lentamente): Oh.
ROBYN (tras esperar cuidadosamente el momento de distensión total): Es mi padre.

Robyn se negó a tratar de describir la explosión subsiguiente, por falta de palabras adecuadas, pero me aseguró que fue muy satisfactoria. Naturalmente me reí, pues Robyn tiene precisamente mi perverso sentido del humor, y le dije con afecto: «Supongo que sí, que eres mi hija...». No porque jamás haya habido la menor sombra de duda al respecto.

Pero con esa idea en la mente, ahora me gustaría retroceder a los días de la Revolución y destacar que Estados Unidos es tecnológicamente hijo de Gran Bretaña y que, pese a la rebelión por una parte y el desheredamiento por la otra, la relación es visible; Me explicaré...

Hace doscientos años, cuando nuestro país declaró la independencia, no era una sociedad industrialmente desarrollada ni siquiera según las pautas de la época. Era casi totalmente rural y todo lo que requiriera un mínimo de sofisticación en la manufactura tenía que ser importado.

En realidad, el subdesarrollo de las Colonias norteamericanas era obra deliberada de Gran Bretaña, que deseaba que esas Colonias le sirvieran como fuente de materias primas (que los ingleses compraban a precios bajos) y como mercado de productos manufacturados (que los ingleses vendían a precios altos). De esta manera, Gran Bretaña ganaba a costa de las Colonias, y desde luego esta situación exasperó cada vez más a los coloniales[16].

Como resultado los coloniales emprendieron una lucha económica contra Gran Bretaña, primero mediante el contrabando, después mediante boicots, y al fin, cuando Gran Bretaña se puso estricta, mediante las armas (No quiero parecer cínico, pero la principal «libertad» en cuestión entre la Madre Patria y las Colonias era la libertad de hacer dinero y de quién debía

[16] Ver nota al final de este capítulo.

tenerlo, si los traficantes y propietarios británicos o los comerciantes y propietarios norteamericanos. Parte de las consecuencias de este enfrentamiento económico fueron las otras libertades proclamadas por la Declaración de la Independencia, sin embargo, por lo cual estoy agradecido).

Cuando en 1783 el gobierno británico se vio forzado finalmente a reconocer la Independencia de los Estados Unidos, aún nos guardaba cierto rencor.

El resentimiento de los británicos los llevó a encontrar razones para conservar ciertas bases en suelo americano; a armar clandestinamente a los indios de la frontera noroeste; a obstaculizar nuestro comercio de cien maneras diferentes. Habrían continuado estorbándonos para seguir la guerra en el plano económico hasta lograr dividimos en varias regiones más débiles y dependientes si no hubiera sido por la Revolución Francesa y el advenimiento de las Guerras Napoleónicas. Con el peligro que los amenazaba del otro lado del Canal de la Mancha, los británicos nos dejaron en paz.

El aspecto más sutil y peligroso de la rivalidad británica residía sin embargo en la esfera tecnológica, algo que rara vez se menciona en los libros de historia. Veamos...

Gran Bretaña, en tiempos del estallido de la Revolución Norteamericana, estaba industrializándose de un modo nuevo que el mundo jamás había presenciado.

La industria británica estaba dominando la energía inanimada y transformándola de una manera muy eficaz en el trabajo generalmente realizado por músculos humanos. Había habido, naturalmente, «generadores de energía» (máquinas para transformar la energía inanimada en trabajo) basados en el viento y el agua, desde que los hombres utilizaron velas, ruedas y molinos, pero en 1769 el ingeniero escocés James Watt diseñó una máquina de vapor que mejoraba los modelos anteriores y fue el primer artefacto práctico basado en el calor producido por la combustión.

El combustible podía quemarse en cualquier parte, de modo que la energía no dependía del lugar como la energía producida por el agua, que sólo era aprovechable en ciertos lugares de ciertos ríos. El combustible podía ser quemado en cualquier momento, de modo que la energía no dependía del capricho de la naturaleza, como cuando el viento soplaba o no. El combustible podía ser quemado en cualquier cantidad, de modo que las necesidades del hombre no estaban reguladas por la capacidad accidental del agua y el viento en un momento dado.

Hacia 1774, en vísperas de la Revolución Norteamericana, Watt se asoció con otras personas y se dedicó a la producción comercial de máquinas de vapor. En 1781, cuando la Batalla de Yorktown finalmente decidió la lucha en favor de los norteamericanos, Watt diseñó accesorios mecánicos que ingeniosamente convirtieron el movimiento de avance y retroceso de un pistón impulsado por vapor en el movimiento rotativo de una rueda, y mediante uno u otro tipo de movimiento la máquina de vapor podía ser útil en diversas actividades. Casi de inmediato, por ejemplo, los siderúrgicos la utilizaron para accionar fuelles que soplaban el aire dentro de los hornos y martillos para triturar el mineral.

El próximo paso vital lo dio Richard Arkwright, nacido en Preston, Lancashire, el 23 de diciembre de 1732, el menor de trece hermanos. En la juventud fue barbero y confeccionaba pelucas, y amasó la base de su fortuna con un proceso secreto para teñir el cabello. En 1769 patentó un invento que hilaba las hebras reproduciendo mecánicamente los movimientos que ordinariamente realizaba la mano humana.

Desde luego, no serviría de mucho contar con una máquina que imitaba a la mano si una mano tenía que dirigir la máquina. La máquina, sin embargo, podía ser accionada por algo menos habilidoso que la mano humana. Al principio Arkwright usó animales para accionar su huso mecánico y luego la energía del agua. En 1790 empezó a usar la máquina de vapor, y ese fue el cambio crucial. Nació la fábrica moderna, y cuando Arkwright murió, en 1792, era millonario.

El sistema fabril, en sus primeros días, tenía sus desventajas. Los obreros quedaban sin trabajo en un tiempo que la sociedad no se sentía responsable por ellos y se limitaba a colgar a quienes robaban pan para alimentar a niños hambrientos. Y como la supervisión humana de la maquinaria no requería experiencia ni fuerza, se empleaban niños porque eran mano de obra barata. Los delitos cometidos contra los niños en los primeros días del sistema fabril resultan intolerables, y al menos yo espero que no se repitan. Lo único más increíble que la crueldad con

que se los trataba era que tanta gente respetable hiciera la vista gorda. Pero esas fallas con el tiempo se corrigieron, y quedaron los beneficios.

Cuando se mecanizaron otros aspectos de la industria textil, la tela pudo producirse en tales cantidades y tan baratamente que un porcentaje mucho mayor de la raza humana pudo vestir decentemente. Como las telas y las crecientes cantidades de otros «artículos de consumo» producidos por las fábricas en expansión tenían que ser vendidas a gentes comunes, éstas empezaron a ser consideradas «clientes», y como clientes resultaban más valiosas que como «labradores» o «lacayos», de modo que Gran Bretaña obligatoriamente avanzó en la dirección de la democracia.

Gran Bretaña, con sus reservas de carbón para alimentar sus máquinas, sus buques para el transporte de mercaderías y la experiencia requerida para construir y expandir la industrialización, se transformó en la nación más rica y poderosa del mundo. Conservó esa posición a través del siglo diecinueve y en ese período se transformó en la mayor potencia imperial (a costa de los pueblos no industrializados) que jamás vio el mundo.

La industrialización de Gran Bretaña, iniciada en el momento en que Estados Unidos se liberaba, amenazó abolir absolutamente las conquistas que los coloniales habían ansiado al ganar la «libertad». ¿Qué libertad tendrían si Gran Bretaña podía producir paños en tal cantidad y de tal calidad que los productos regionales norteamericanos ni siquiera podían empezar a competir? Estados Unidos se vería obligado a vender algodón (y otras materias primas) a los británicos, al precio que ellos impusieran, y comprar la tela (y otros productos manufacturados) a los británicos, también al precio que ellos impusieran. Si los británicos regulaban los precios, nosotros perderíamos y ellos ganarían.

Es lo que los británicos habían querido antes de la Revolución y lo que podían lograr después de la Revolución. Así funciona el colonialismo, ya la Colonia pertenezca abiertamente a la |Nación que la explota o pretenda ser independiente.

La única salida para Estados Unidos era desarrollar una industria textil propia. ¿Pero cómo? Los Estados Unidos contaban con individuos ingeniosos, desde luego —estaba, por ejemplo, Benjamín Franklin[17]—, pero el mero ingenio no bastaba para hacer las cosas con la rapidez necesaria. De algún modo había que robar secretos a los británicos para alcanzar la requerida celeridad.

Claro que no era fácil. Gran Bretaña sabía perfectamente que su riqueza y fuerza dependían de la preservación y, de ser posible, la extensión de su liderazgo industrial en el resto del mundo, y hacía todos los esfuerzos para lograrlo. Los planos de las nuevas maquinarias no podían salir del país, y tampoco los ingenieros expertos en la nueva tecnología. Y era muy lógico que los británicos estuvieran resueltos a que nadie, y menos los norteamericanos, se adueñara de esos recursos.

La nueva maquinaria textil era para los británicos de 1790 lo que la bomba nuclear para los norteamericanos de 1945, en lo que concierne al temor de la difusión del secreto. Y por otra parte, los norteamericanos de 1790 estaban tan ávidos de informarse acerca de la nueva maquinaria textil como los soviéticos de 1945 de informarse acerca de la bomba nuclear.

Los Estados Unidos actuaron como era de esperar en tales circunstancias. Hicieron lo posible para encontrar traidores, igual que la URSS un siglo y medio más tarde.

Esto nos lleva a Samuel Slater, nacido en Belper, Derbyshire, el 9 de junio de 1768. Trabajó como aprendiz con un socio de Richard Arkwright. Operaba maquinarias textiles y las conocía al dedillo. Sin embargo, Gran Bretaña era una sociedad clasista, y como el ascenso social era difícil de lograr, Slater sabía que sus progresos estarían limitados.

(Claro que Arkwright había salido de la insignificancia para amasar una gran fortuna y ganar el título de caballero, pero esa era la excepción. En realidad, las excepciones de este tipo son perjudiciales, pues colaboran en la preservación de un sistema injusto proporcionando la pantalla que oculta las injusticias. El éxito de uno es esgrimido para justificar y velar la opresión de diez mil).

A Slater le pareció que le iría mejor allende el mar, donde una sociedad joven y aún caótica posibilitaba riqueza y prestigio a los advenedizos, y más aun teniendo en cuenta que

---

[17] Véase «*The Fateful Lightning*», en **«The Stars in their Courses»** (Doubleday, 1971)

Estados Unidos ofrecía una recompensa (es decir, soborno) por la clase de conocimiento que él poseía.

Slater no podía llevar consigo ningún plano, desde luego, de modo que se tomó el penoso trabajo de memorizar cada detalle de la maquinaria; después de todo, las autoridades no tenían manera de registrarle las pertenencias mentales. Tampoco podía emigrar como ingeniero, así que se disfrazó de labrador y se escabulló del país.

En realidad «desertó». ¿De qué otro modo llamarlo?

En 1789 llegó a Nueva York y se puso en contacto con los Brown, la familia de comerciantes más rica de Rhode Island (El nombre de la *Universidad de Brown* proviene de Nicholas Brown, cuyo dinero permitió fundar la institución, y Slater trató con Moses Brown, el hijo de Nicholas). Hacia 1793, Slater, trabajando de memoria, construyó en Pawtucket la primera fábrica norteamericana. Luego las construyó en Nueva Inglaterra.

Esto era apenas un comienzo, pero también la declaración de la independencia era apenas un comienzo. El comienzo de Slater prosperó al mismo paso de la independencia, y la consecuencia fue que Estados Unidos se transformó en potencia industrial.

Si George Washington fue el padre de la patria, Samuel Slater fue el padre de la industrialización de su país adoptivo. No obstante, la política y la guerra resultan cautivantes pero la economía se considera aburrida[18], así que mientras George Washington está presente en todo el país, y más que nunca en el *Año del Bicentenario*, Samuel Slater es virtualmente un desconocido, aunque sus actos dieron a Estados Unidos mayores posibilidades de una independencia auténtica que las que pudieron brindar los actos de Washington sin ningún respaldo económico.

Claro que hay un poblado de Slatersville, denominado así en memoria de Slater, en la frontera central norte de Rhode Island, pero quién sabe cuántos habitantes del poblado saben cuál es el origen del nombre.

Como resultado de la Revolución Industrial, que llegó a los Estados Unidos en 1793, nuestro país salió adelante. Ya no sería una Colonia británica en ningún sentido, y una vez conquistada la independencia política pudo luchar para conquistar también la independencia económica.

Desde luego, *dentro* del país el problema existía para algunos sectores que la Nación como totalidad había eludido. Nueva Inglaterra y, en menor medida, otros Estados del Norte, estaban industrializados, mientras que los Estados del Sur, enamorados de una existencia grácil y caballeresca (para un pequeño porcentaje de la población) sustentada por esclavos y no por máquinas, permanecieron rurales.

Fue un temible error de los estados del Sur, pues a la larga se transformaron en Colonias de los estados industrializados del Norte, y especialmente de Nueva Inglaterra. Los molinos algodoneros de Nueva Inglaterra compraban barato el algodón crudo, del Sur y vendían la tela cara, y se impusieron restricciones tarifarias para impedir que los Estados del Sur encontraran mejores clientes en otra parte. La caballeresca gracilidad de los dueños de las plantaciones no les impedía estar empeñados hasta las gráciles y caballerescas orejas con los capitalistas del Norte.

La esclavitud fue un argumento emocional en los Estados Unidos de 1850, tal como los derechos de los ingleses habían sido un argumento emocional en las Colonias de 1760, pero en ambos casos fue la economía lo que desató las hostilidades. Los Estados del Norte, a causa de la industrialización, prosperaron y se poblaron, y el Gobierno de los Estados Unidos, manejado por los centros de población (que contaban con mayor número de votos) se organizó de tal manera que favorecía a los ya favorecidos.

Los Estados del Sur fueron hundiéndose cada vez más en la situación colonial, que sin duda sería permanente a menos que tomaran medidas drásticas. Trataron de aumentar su poder expandiéndose a costa de México (pese a las objeciones de los norteños), y como eso no funcionó, optaron por dejar la Unión y formar una Confederación independiente.

---

[18] Lejos de mí querer criticar a nadie. Escribí una docena de libros de historia en los que hablo extensamente de la política y la guerra y muy brevemente de economía, precisamente porque las primeras son cautivantes y la segunda aburrida, de modo que no culpo a otros por hacer lo mismo. Simplemente señalo el hecho, es todo.

Los Estados del Sur nunca entendieron (o quisieron admitir) que era su propia opción de ser una sociedad esclavista y no una sociedad industrializada lo que los perjudicaba, de modo que nunca advirtieron que jamás vencerían. Aun si lograban conquistar la «independencia», no podían vencer.

Si la victoria pudiera decidirse de manera puramente militar en el campo de batalla, la nueva Confederación tenía realmente buenas posibilidades. Aunque la población del Sur era bastante menor que la del resto de la Unión, ese no era en verdad un factor decisivo.

La Confederación tenía los mejores Generales (Robert E. Lee era sin lugar a dudas el mayor Capitán que jamás nació en el territorio de los Estados Unidos), la mejor caballería, los mejores soldados. Y tenían la ventaja de la defensa.

Mientras que las tropas de la Unión debían avanzar y ocupar el territorio de la Confederación (que era vasto y tenía escasos centros vitales) contra una resistencia desesperada si querían ganar la guerra, los Ejércitos confederados sólo tenían que frenar a la Unión. No tenían que invadir los Estados del Norte; no estaban combatiendo por el territorio. Incluso podían darse el lujo de retirarse y ceder un poco de su propio territorio. Todo lo que debían hacer era esperar, de cualquier modo y por muy precariamente que fuera... simplemente esperar hasta que la Unión se hartara del asunto y desistiera.

Ahora sabemos cómo es esa situación. En el último conflicto habríamos tenido que destruir a los vietcong y los norvietnamitas para ganar, pero ellos no tenían que destruimos a nosotros. Lo único que les quedaba por hacer era estorbarnos. Sin embargo, no tenían que vencer en un sentido convencional; simplemente tenían que aguantar a cualquier costo hasta que nos hartáramos de ese condenado asunto. Lo hicieron... y ganaron una guerra en la que no ganaron una sola batalla militar[19].

Además, hace un siglo la Confederación esperaba tener a las naciones industriales de Europa de su parte, especialmente a Gran Bretaña. El razonamiento era que Gran Bretaña necesitaría el algodón de la Confederación para sus fábricas textiles, y antes que arriesgarse a la ruina económica, los británicos (así razonaban los confederados) romperían el bloqueo federal y asumirían el papel de arsenal de los esclavistas.

Los cálculos fueron erróneos. Ante todo, Gran Bretaña no respaldó abiertamente a la Confederación. A las clases dominantes de Inglaterra les hubiera gustado, al menos para debilitar a los Estados Unidos y dejar a América librada a la explotación británica, pero nunca suministraron a la Confederación una ayuda decisiva (En parte esto se debió a que los mismos obreros textiles británicos que quedaron sin trabajo cuando se cerraron las fábricas por falta de algodón, desfilaron en grandes manifestaciones contra la Confederación que les hubiera devuelto el trabajo pues reprobaban la esclavitud. Fue un ejemplo de algo que rara vez ocurre en la historia: la victoria de un idealismo a largo plazo sobre una ventaja a corto plazo).

¿Y por qué la Unión no se hartó de la Guerra Civil como un siglo más tarde Estados Unidos se hartó de la Guerra de Vietnam? Por supuesto, la Guerra Civil nos tocaba más de cerca... *mucho* más de cerca. Otro factor fue que la Unión tuvo la suerte increíble de tener por Presidente a Abraham Lincoln, que jamás cedió.

Lincoln tenía una meta, y aunque enfrentaba constantes desastres en el campo de batalla, aunque enfrentaba la estupidez, la corrupción, y casi la traición entre los suyos, y aunque soportaba un peso mayor del que correspondía a un solo hombre[20], nunca renunció, nunca desistió, no olvidó por un momento adónde iba y por qué, ni perdió jamás el humor de su mente ni la amabilidad de su corazón... pero tengo que liquidar este tema, o jamás terminaré la frase.

Pero supongamos que Lincoln hubiera cedido y supongamos que los británicos hubieran intervenido y supongamos que la Confederación hubiera dictado una paz que los independizaba, con Gran Bretaña lista para garantizar esa independencia si más tarde los yanquis volvían al ataque. ¿La Confederación habría ganado?

En absoluto. No habría ganado nada. En tanto permaneciera como una economía esencialmente rural basada en la esclavitud, habría seguido siendo una colonia. A lo sumo habría conseguido cambiar de amo: en vez de la Nueva Inglaterra, la Vieja Inglaterra. Y Gran

---

[19] Hasta la ofensiva Tet había sido para ellos una derrota táctica.

[20] Después de la Batalla de Fredericksburg, el 13 de diciembre de 1862, la más desastrosa de todas las derrotas de la Unión, causada absolutamente por la incapacidad de los Generales, Lincoln dijo: «Si hay un lugar peor que el infierno, estoy allí».

Bretaña también habría insistido en la liberación de los esclavos, pero dejémoslo de lado. La Confederación no venció. La Unión ganó la guerra. ¿Por qué?

No porque no interviniera Gran Bretaña. Eso sólo dio a la Unión la oportunidad de no perder. No fue porque Lincoln fuera Lincoln; eso sólo significaba que la Unión no desistiría. ¿Qué le hizo *ganar*?

Para ver el porqué, volvamos una vez más a los primeros días de la República.

Cuando los Estados Unidos conquistaron la independencia, Federico II ocupaba el trono de Prusia. Había ganado varias guerras contra las monarquías más grandes que lo rodeaban y por eso se lo conoce como «Federico el Grande», el último monarca en la historia que recibió ese título. En 1783, cuando la independencia norteamericana quedó confirmada y era un hecho, Federico tenía setenta y un años de edad, hacía cuarenta y tres que era rey, y sólo le quedaban tres más de vida. Era el estadista más viejo de Europa y no tenía nada de tonto... y tenía una opinión muy clara acerca de la nueva Nación. Sostenía que no sobreviviría.

Sus razones eran lógicas. Ese nuevo país llamado Estados Unidos era demasiado vasto y demasiado desierto para sostenerse. Era una opinión razonable para un monarca cuyo propio país era pequeño y estaba rodeado por muchos otros países pequeños. La pequeñez era para él un hecho incuestionable, y hasta es posible que esa opinión fuera correcta si hubiera sido correcta la suposición que implicaba: que el estado de la tecnología permanecería inalterado.

Si observamos los Estados Unidos de esa época sin el beneficio de la retrospección, entendemos que Federico pudo haber tenido razón. Estados Unidos era un conglomerado de trece Estados diferentes, cada cual celoso de la soberanía y cada cual receloso del vecino. No parecían tener posibilidades de prosperar.

La constitución implicaba un cambio para mejor. Pues designó un Gobierno Federal para todos los Estados, que así cedían voluntariamente una parte de su soberanía. Aun así, los Estados se rehusaban a interpretar esta cesión salvo en los términos más estrechos. Esto significó que durante décadas el Gobierno Federal tuvo que dejar a cargo de los Estados individuales las necesarias mejoras en medios de transporte y comunicación que habrían posibilitado un vínculo más estrecho para un territorio tan vasto y desierto, permitiéndole ser una nación moderna.

Pese a la in eficiencia que implicaba la actividad independiente de cada Estado, se construyeron carreteras y canales, sobre todo en el Norte industrializado. La obra más célebre de esa época fue el Canal de Erie, que se inauguró en 1825 y sirvió para comunicar a Nueva York con el interior. Nueva York, que hasta entonces había sido postergada por Filadelfia como metrópoli nacional, de pronto cobró impulso y se transformó a partir de entonces en la ciudad más grande de la nación y en la ciudad más notable del mundo (ver capítulo 3).

Las carreteras y canales tienen sus límites, sin embargo. Los hombres no pueden ir a más de determinada velocidad, y los caballos no pueden galopar a más de determinada velocidad, aun en la mejor carretera, y los barcos no pueden bogar a más de determinada velocidad aun en el mejor de los canales. En esas condiciones, ni las carreteras ni los canales bastan para unir una nación cuando tiene el tamaño que adquirió Estados Unidos.

Por cierto, el antiguo Imperio Romano era más vasto que los Estados Unidos de 1800, y se interconectaba sólo mediante carreteras donde galopaban caballos y marchaban Ejércitos y mediante vías marítimas donde bogaban galeras impulsadas por hombres y naves mercantes de vela. El Imperio Romano, sin embargo, había sido construido mediante una anexión relativamente lenta (en su mayor parte) de zonas ya civilizadas, y en su auge no tuvo que competir con naciones más compactas y más avanzadas tecnológicamente.

El anterior Imperio Persa, por el contrario, aunque tan vasto como el Romano e interconectado de la misma manera, sí tuvo que competir con Estados menores que estaban más avanzados tecnológicamente. Persia, por lo tanto, se desmoronó ante Alejandro Magno de Macedonia en una campaña que siempre es considerada una especie de milagro pero cuyos resultados eran más que previsibles. Alejandro de ningún modo era David combatiendo a Goliat; era el cazador disparándole al elefante.

En esas primeras décadas de independencia, Estados Unidos enfrentaba a Europa tal como el Imperio Persa enfrentaba al mundo griego. La situación empeoró (en una estimación a

corto plazo) cuando el Presidente Jefferson compró Luisiana en 1803 y duplicó el territorio norteamericano sin duplicar la capacidad de conservarlo todo frente a las presiones externas.

Lo que nos salvó, en primer lugar, fue el efecto protector de tres mil millas de océano entre nosotros y Europa. Segundo, que Gran Bretaña, el único Estado europeo que pedía cruzar libremente el océano, estuviera ocupada con Napoleón (Eventualmente, Gran Bretaña tuvo que entrar en guerra con nosotros, de mala gana, en 1812, y con ambos ojos en Napoleón y sólo una ojeada de vez en cuando hacia nosotros y los campos de batalla que tenía a tres mil millas logró contenernos).

Pero si las circunstancias nos salvaron en nuestros primeros tiempos, tan vulnerables, ¿qué fue lo que nos fortificó (aun cuando nuestra superficie se amplió tanto que llegó a superar la de Europa) y nos impidió desmoronamos bajo el terrible esfuerzo de la Guerra Civil?

La respuesta reside por supuesto en el progreso tecnológico, y para una exposición detallada, vean el capítulo 5.

(Nota: Después que este ensayo se publicó por primera vez en julio de 1976, recibí una carta de Albert G. Hart del Departamento de Economía *de la* Universidad de Columbia, *que decía «Realmente usted tiene una puntería extraordinaria», lo que me halagó mucho, pues todos sabemos que en verdad no soy economista. Pero luego se dedicó a puntualizarme algunos errores de apreciación.*

Según él las Colonias norteamericanas no estaban totalmente supeditadas a Gran Bretaña en el aspecto económico. Los coloniales eran estimulados a la fabricación de buques, pues contaban con enormes reservas madereras y los británicos no. Además piensa que he subestimado la importancia del transporte acuático: el comercio costero, los ríos, e incidentalmente los Grandes Lagos.

Los norteamericanos, señala Hart, desarrollaron la tecnología de las partes intercanjeables independientemente y antes que Gran Bretaña, y tenían un sistema educativo totalmente europeo, lo cual es algo de considerable importancia.

Tengo que darme por vencido. Pero aun concediendo que las Colonias no estaban en un atolladero tan dramático como el que he pintado, todavía me quedo con mi artículo, siempre que tengamos en cuenta que exageré la nota en un par de factores.

5

PROGRESANDO

A veces la gente se impacienta conmigo porque insisto en que ningún acontecimiento histórico puede ser cabalmente comprendido sin tener en cuenta el efecto del cambio tecnológico. Hace veinte años tenía un amigo que siempre me decía: «¿Cómo explicas las Cruzadas en términos de cambio tecnológico?»

Sabía a qué se refería. Él pensaba que todo era una cuestión de entusiasmo religioso, de caballeros exasperados por una visión de Tierra Santa mancillada por los pérfidos infieles.

Lo pensé un poco y al fin le dije: «Alrededor del año 1000 el colapso tecnológico de las provincias europeas occidentales del Imperio Romano empezó a detenerse. La invención del arado de orejera permitió roturar con eficacia los terrenos húmedos del noroeste europeo. La invención de la collera y la herradura permitió que el caballo, más eficaz, reemplazara al buey frente al arado. En consecuencia la producción de alimentos aumentó y la población se multiplicó».

«Como la nobleza se multiplicaba más (pues recibía los mejores alimentos) pero la cantidad de tierra no, el tamaño medio de los feudos disminuyó, y aun así hubo un creciente número de caballeros sin tierra. Sus eternas luchas caldeaban la atmósfera del noroeste de Europa, y hacia 1095 el Papa se sintió muy satisfecho de librarse de muchos de ellos enviándolos a Oriente para luchar contra los pérfidos infieles. La religión fue la excusa, no la causa fundamental».

Mi amigo se negaba a aceptarlo pero me pregunto qué diría hoy. En el Líbano (que era parte del Reino de Jerusalén instituido en 1099 por los cruzados) hay en este momento una Guerra Civil entre musulmanes y cristianos. Los cristianos son muy inferiores en números y serán vencidos en un plazo no muy largo. Esta es precisamente la situación que de vez en cuando provocaba una cruzada hace nueve siglos. En tiempos mucho más recientes, en 1958, una Guerra Civil similar pero mucho menos peligrosa en el Líbano incitó al Presidente Eisenhower a enviar los marines.

¿Y ahora? Ninguna nación cristiana dice una palabra. Ni un Susurro. Todos miran la situación desde lejos[21].

¿Por qué? ¿A causa de la decadencia del fervor religioso en Occidente? En parte, supongo que sí (lo cual en buena parte se debe al progreso de una tecnología de base científica en los últimos siglos).

¿Por qué la cristiandad occidental ya no presenta un frente unido; gracias a la reforma protestante y al desarrollo del secularismo? En parte, supongo que sí (aunque tanto la reforma como el secularismo apenas habrían sido posibles sin la imprenta).

¿Pero alguien duda de que ante todo un caso de simpatía religiosa totalmente supeditada al miedo de, un boicot petrolero, por razones tecnológicas perfectamente obvias?

O tomemos algo que parece aun más alejado de la tecnología que las Cruzadas: las características de mi estilo.

Los reseñadores suelen comentar mi «entusiasmo», mi «vivacidad», mi «calidez». Mi entusiasmo con el tema parece impregnar todos mis escritos y cualquiera supondría que es el resultado de mi personalidad efervescente y extravertida.

No puedo negar que soy efervescente y extravertido, desde luego, pero no obstante también se requiere tecnología. La razón por la cual la efervescencia tiene la oportunidad de

[21] Este artículo fue escrito en enero de 1976. Más tarde, ese año, los cristianos fueron rescatados, ¡pero por los musulmanes sirios!

despuntar en mi escritura es que no se evapora en el proceso de convertir pensamientos en palabras. Pienso rápidamente en palabras y frases silenciosas y necesito una manera de verterlas en el papel en cuanto las creo.

Una pluma de ganso no serviría; tampoco una pluma de acero, ni una lapicera fuente, ni un bolígrafo. Puedo escribir, y he escrito, artículos y cuentos de este tamaño o aun más largos con pluma y tinta, pero es una tarea penosa y no podría seguirla durante mucho tiempo. Si sólo pudiera escribir de ese modo, les aseguro que las características de mi escritura serían diferentes, más sombrías. Ni siquiera una máquina de escribir común es suficiente, pues a la hora o dos ya estoy cansado de teclear.

No, lo que hace falta es una máquina de escribir, eléctrica, que requiere apenas un toque delicado y me permite volcar mis noventa palabras por minuto a lo largo de todo un día de trabajo, si tengo ganas. Semejante máquina me permite ver lo que escribo (dictar es como caminar por una avenida atestada con los ojos cerrados) y se atiene a mi ritmo, de modo que no pierdo nada de mi entusiasmo en el proceso irrelevante de modelar una letra o apretar con fuerza una tecla.

Ahora pasemos a analizar la historia norteamericana en términos de progreso tecnológico, algo que ya empecé en el capítulo 4.

Terminé el capítulo 4 señalando que Federico el Grande había predicho que Estados Unidos no duraría a causa de su tamaño. Y, sin embargo, ha durado aun pese a la fuerza explosiva y desintegradora de la Guerra Civil más sistemáticamente encarnizada que se libró jamás.

¿Cómo?

Fue un problema de transporte y comunicación. Federico presumía que ni los mensajes ni las mercancías podían viajar de un extremo al otro de la nueva nación con la celeridad necesaria, de modo que las diferentes partes perderían contacto recíproco y terminarían por seguir su propio camino.

No pensó que podía haber cambios fundamentales en el transporte y la comunicación. ¿Por qué iba a haberlos? No los había habido en cuatro mil años. Claro que se había inventado la máquina de vapor como nueva fuente de energía, pero cuando se reconoció a Estados Unidos como país independiente apenas empezaba a revelar sus potencialidades, y Federico no tuvo en cuenta ese factor.

Otros sí. Si la máquina de vapor podía hacer girar una rueda en una fábrica textil, podía hacer girar una rueda al costado de un barco, y si esa rueda se equipaba con paletas, la máquina de vapor se convertiría, por así decirlo, en un galeote mecánico infatigable que impulsaría la nave contra viento y marea.

El concepto básico era simple, y en 1785 John Fitch (nacido en Windsor, Connecticut, el 21 de enero de 1743) ya lo tenía pensado. En 1790 hizo navegar una embarcación de vapor por el Delaware, ida y vuelta entre Filadelfia y Trenton con un horario regular.

Lamentablemente, John Fitch estaba signado por la mala suerte. Nada le salía bien. Había tenido escasa educación, un padre severo y una esposa entrometida (a quien abandonó). Cuando hizo algún dinero con una fábrica de armamentos durante la Guerra Revolucionaria, le pagaron con moneda europea, que perdió todo su valor. La última parte de la guerra la pasó como prisionero británico.

Después de esfuerzos sobrehumanos para conseguir un capital y solucionar los problemas legales con cinco Estados, puso en marcha su buque de vapor, pero no pudo convencer a los pasajeros de que lo abordaran. Quienes lo apoyaban financieramente lo abandonaron, y cuando una tormenta le destruyó el barco en 1792 quedó en la ruina.

Pasó a Francia para intentar de nuevo, pero llegó allí en 1793, en el momento más turbulento de la Revolución Francesa, y no pudo obtener fondos. Volvió a Estados Unidos y murió en Bardstown, Kentucky, el 2 de julio de 1798. Probablemente se suicidó.

¿Piensan que allí terminó su mala suerte? ¡De ninguna manera! Inventó el barco de vapor, ¿pero cuánta gente lo sabe? Pregúntenle a cualquiera, y les responderán que fue Robert Fulton.

Fulton nació en Little Britain, Pennsylvania (un poblado que ahora se llama Fulton), el 14 de noviembre de 1765. En la época en que Fitch murió. Fulton, que después de la Revolución había viajado a Gran Bretaña, se puso a pensar en barcos de vapor.

En 1797 pasó a Francia y dedicó años al intento de diseñar un submarino funcional. El mejor modelo lo construyó en 1801, y lo bautizó *Nautilus*. El nombre al menos prosperó. En 1870 el escritor francés Jules Verne escribió **«Veinte mil leguas de viaje submarino»** y llamó *Nautilus* al submarino del Capitán Nemo, por la nave de Fulton. Luego, en 1955, Estados Unidos botó el primer submarino de propulsión nuclear y lo bautizó *Nautilus*, por la nave de Nemo.

Fulton también trabajó en naves de superficie y planeó un barco de vapor que recorrería el Sena río arriba y río abajo. No funcionó, y aunque Gran Bretaña y Francia (que estaban en la primera etapa de lo que terminaría siendo una guerra de veinte años) comprendían las ventajas bélicas de la propulsión de vapor ninguna de ambas naciones estaba dispuesta a invertir demasiado en proyectos inciertos.

En 1806 Fulton regresó a Estados Unidos y continuó sus experimentos en el río Hudson. Logró obtener el respaldo financiero de Robert R. Livingston (uno de los cinco hombres que integraban el comité que se había encargado de redactar la declaración de independencia, y un hombre que había actuado como Cónsul norteamericano en Francia cuando Fulton estaba allá). Fulton construyó un buque que bautizó *Clermont* y el 7 de agosto de 1807 la nave emprendió su travesía por el Hudson. Llegó a Albany en treinta y dos horas, a 8 km por hora.

Aunque Fulton no construyó la primera nave de vapor que funcionó, construyó la primera que proporcionó ganancias y supongo que eso es lo que cuenta. Murió el 24 de febrero de 1815 de una neumonía contraída tras trabajar en la cubierta de un buque de vapor en construcción en medio del mal tiempo, pero en esa época ya había una flota de buques de vapor que operaban bajo su dirección.

Lo que el buque de vapor hizo por los Estados Unidos fue transformar los grandes ríos de la Nación en carreteras de dos manos, corriente *arriba* y corriente *abajo.* Hacia 1850 el buque de vapor vivía una época de oro que Mark Twain reflejó para siempre en su **«Vida en el Mississippi»**.

Desde los primeros tiempos, fue más fácil atravesar el mar que la tierra. El mar era chato y navegable en todas las direcciones; la tierra es montañosa, pantanosa, rocosa, arenosa, y en general difícil de recorrer, salvo a pie, si no hay carreteras decentes, y hasta el siglo veinte éstas eran tan escasas que casi ni existían.

El cambio crucial sobrevino cuando la máquina de vapor se empleó para hacer girar las ruedas de una locomotora («que se desplaza de un lugar a otro»), que a su vez podía arrastrar un tren[22] con vagones de carga o pasajeros. La cantidad de energía que se habría necesitado para empujar las ruedas de todos esos coches sobre terrenos accidentados, rocosos y fangosos habría sido impensable, así que la solución consistió en tender un par de rieles paralelos (al principio de madera, luego de acero) sobre los cuales las ruedas pudieran deslizarse tan raudamente como un barco en el mar.

El inventor de la locomotora de vapor fue el inglés Richard Trevithick, nacido cerca de Illogan, Cornualles, el 13 de abril de 1771. Ya en 1796 estaba diseñando locomotoras de vapor y fue el primero en demostrar que ruedas de metal liso podían tener suficiente tracción, sobre rieles de metal liso, para imprimir movimiento, gracias a la presión ejercida por el peso de la locomotora.

En 1801 Trevithick ya hacía operar locomotoras, pero, como Fitch, estaba signado por la mala suerte. Aunque sus locomotoras funcionaban, tuvo que enfrentarse a la insuficiencia de vapor, el exceso de fuego, los ejes rotos, la hostilidad pública y otras calamidades. Al fin desistió y fue a Sudamérica a vender motores de vapor.

Tal como le pasó a Fitch, fue otro quien se llevó la palma por el invento de Trevithick. Al contrario de Fitch, Trevithick vivió para presenciarlo.

El inventor que se llevó la palma fue George Stephenson, quien nació en Wylam, Nortumbria, el 9 de junio de 1781. Tenía la ventaja de tener un padre que trabajaba con máquinas de vapor y lo había iniciado en la especialidad. Tenía la desventaja de ser inculto y analfabeto. Ya en la juventud asistió a una escuela nocturna para aprender a leer con el propósito de poder estudiar la obra de James Watt.

---

[22] La palabra puede aplicarse a cualquier serie de objetos similares puestos en fila.

Se puso a construir locomotoras, y en 1825 una de sus locomotoras arrastró treinta y ocho vagones pequeños a lo largo de rieles a velocidades que oscilaban entre los 20 y los 25 kilómetros por hora. Fue la primera locomotora de vapor *práctica* que se construyó, y en 1830 Stephenson y sus colaboradores tenían ocho máquinas trabajando en un ferrocarril entre Liverpool y Manchester. Por primera vez en la historia del mundo, era posible un medio de transporte terrestre más rápido que un caballo lanzado al galope.

(El pobre Trevithick aún vivía en Sudamérica y con su mala suerte de costumbre se vio involucrado en las revoluciones coloniales contra España y obligado a pelear en el bando de los rebeldes. Irónicamente, sólo pudo regresar a Inglaterra pidiendo dinero prestado al hijo de Stephenson, quien casualmente estaba en Sudamérica y cuya fortuna venía de los dividendos producidos por el invento del padre. Trevithick murió en la pobreza, en Dartford, Kent, el 22 de abril de 1833).

Estados Unidos avanzó al mismo ritmo de Gran Bretaña en lo concerniente al ferrocarril. En 1825 un tal John Stevens construyó la primera locomotora norteamericana que corrió sobre rieles: un tramo de media milla cerca del hogar de Stevens, en Hoboken, Nueva Jersey.

En 1827 se fundó el Ferrocarril de Baltimore y Ohio. El 4 de julio de 1828, quincuagésimo segundo aniversario de la declaración de la independencia, se iniciaron los trabajos para el primer ferrocarril de pasajeros y carga de Estados Unidos, en Baltimore. Lo inauguró Charles Carroll, quien en esa época, a la edad de noventa y dos años, era el único sobreviviente de quienes habían firmado la declaración de la independencia[23]. El 24 de mayo de 1830 se inauguraron las primeras trece millas de ferrocarril.

Más que ninguna otra nación en el mundo, Estados Unidos se abocó a una frenética construcción de ferrocarriles. A los diez años, los tramos sumaban 4.500 kilómetros (2.800 millas), y a los treinta años, 48.000 kilómetros (30.000 millas).

A través de toda la historia del mundo, transporte y comunicación fueron casi sinónimos. En general, el mensaje sólo llegaba con el mensajero que tenía que hacer el recorrido a pie, a caballo, en barco, o en todo caso en ferrocarril. Los únicos mensajes que podían llegar antes que el mensajero eran los enviados por señas, reflejos de luz, señales de humo, tam-tams, etcétera. Todos tenían un radio limitado. El cambio crucial sobrevino con la utilización de la corriente eléctrica.

El italiano Alessandro Volta inventó la batería química en 1800, y por primera vez se produjo corriente eléctrica utilizable. El danés Hans Christian Oesterd descubrió el electromagnetismo en 1820, e inmediatamente después el francés André Marie Ampére elaboró la teoría de la corriente eléctrica. El inglés Michael Faraday introdujo el generador eléctrico en 1831, logrando corriente batata para la utilización rutinaria y masiva. El norteamericano Joseph Henry inventó el electromagneto con alambre aislado en 1829, y en 1831 el relay eléctrico y el motor eléctrico, con lo cual se ampliaron las posibilidades prácticas de la corriente.

La primera aplicación notoria se logró gracias al trabajo de un artista, Samuel Finley Breese Morse, nacido el 17 de abril de 1791 en Charlestown, Massachusetts.

Morse no me resulta una persona demasiado simpática. No sentía ningún vínculo patriótico con los Estados Unidos y vivió cómodamente en Gran Bretaña durante la guerra de 1812. Cuando regresó a Estados Unidos y se dedicó a la política, lo hizo como integrante del partido de los Norteamericanos Nativos (un grupo recalcitrante de anticatólicos, opuesto a la inmigración, habitual y adecuadamente denominado los *Know-Nothings*, los ignorantes). Durante la Guerra Civil, Morse fue prosureño, pues era un racista que creía en las bondades de la esclavitud.

Durante la década de 1830 Morse se contagió la fiebre de la experimentación eléctrica del químico norteamericano Charles Thomas Jackson, compañero de viaje durante una travesía oceánica (Jackson era un científico excéntrico bastante brillante que hizo varios descubrimientos a medias, entabló pleitos por la prioridad, y murió loco).

Morse sabía poco de electricidad pero por casualidad conoció a Joseph Henry. Henry, una persona cálida y benevolente, ayudó a Morse sin reservas, respondiendo a todas sus preguntas y explicándole cómo funcionaba el relay eléctrico. Morse, una persona gélida y egoísta, asimiló todo y en las posteriores batallas legales por la prioridad de la invención arguyó que Henry no le había enseñado nada.

---

[23] Carroll murió el 14 de noviembre de 1832, a la edad de noventa y cinco años y dos meses.

Tanto Henry como el físico británico Charles Wheatstone habían construido formas funcionales de lo que más tarde se denominó «telégrafo», pero Morse añadió algo de considerable importancia, un sistema de señales espaciadas por intervalos cortos y largos que serviría como el «código» que recibió su nombre para el envío de mensajes telegráficos. También inventó un sistema de autopromoción inescrupulosa que le permitió ganar dinero con recursos improbables.

Obtuvo la patente de su sistema telegráfico en 1840, y luego logró persuadir al muy reticente Congreso norteamericano de que le pusiera a disposición 30.000 dólares —por un margen de seis votos— para construir una línea telegráfica en el tramo de cuarenta millas entre Baltimore y Washington. Fue completada en 1844 y el primer mensaje que Morse envió en su propio código fue *«What hath God wrought?»*, una cita bíblica (*¿Qué ha hecho Dios?*, «Números» 23:23). Por primera vez un mensajero sin mensaje podía recorrer prácticamente cualquier distancia de manera instantánea.

Antes del fin de ese año, los periodistas del país utilizaban el telégrafo para anunciar los detalles de la Convención Democrática para nominar al presidente.

Antes de Gran Bretaña, cinco años, se estableció la comunicación telegráfica entre Nueva York y Chicago, y en tiempos de la Guerra Civil las líneas telegráficas recorrían el país entero.

En la década de 1860, pues, Estados Unidos estaba interconectado por tierra, mar y alambre, y la fuerza centrífuga no bastaba para fracturarlo por un mero problema de falta de contado entre sus partes. Federico el Grande se equivocaba: no había tenido en cuenta el progreso tecnológico.

Pero Estados Unidos estuvo a punto de desmoronarse, sin embargo, no por mera incoherencia, sino a causa de las arraigadas y violentas diferencias entre los Estados del Norte y el Sur, que desembocaron en una guerra espantosa. ¿En qué medida la tecnología impidió el colapso?

Los Estados del Norte, que luchaban por la Unión, tenían medio siglo de industrialización creciente. Producían hierro y acero en una cantidad que posibilitaba la rápida expansión de líneas de ferrocarril y la rápida construcción de locomotoras. Los industriales del Norte, ansiosos de embarcar sus mercaderías y traer materia prima, exigían ferrocarriles que cruzaran los diversos Estados y el Gobierno Federal estaba dispuesto a cooperar con ellos.

El resultado fue que en 1861 los dos tercios de las millas de rieles de ferrocarril de los Estados Unidos estaban en los Estados del Norte, y esas líneas integraban una red homogénea.

Los Estados del Sur, en cambio, adherían a su creencia en las virtudes del ruralismo de Jefferson, y las grandes plantaciones tendían a la autoeficiencia mucho más que las unidades del sistema social del Norte. El Sur no se preocupaba demasiado por la construcción de ferrocarriles, que le parecían económicamente poco ventajosos en la medida en que todos los productos manufacturados y los técnicos especializados tenían que venir del norte o de Gran Bretaña.

Más aun, como en el Sur las leyes estatales eran muy fuertes, como medio de protección contra el Norte más populoso, que cada vez más dominaba la Unión, cada Estado sureño construía los ferrocarriles a su antojo sin preocuparse demasiado por los vecinos. El resultado fue que la red ferroviaria del Sur no sólo era menor sino menos integrada, y por lo tanto menos aprovechable.

La Guerra Civil, librada por Ejércitos de centenares de miles en un campo de batalla que abarcaba miles de millas cuadradas, presentó enormes problemas de transporte y aprovisionamiento para ambos bandos. Un Ejército masivo debe obtener alimentos y vestidos gracias al transporte en masa o de alguna manera tiene que arreglárselas para sobrevivir con los recursos del medio circundante.

Como la guerra se libraba en territorio sureño, los Ejércitos de la Unión ocasionalmente podían optar por vivir de los recursos locales como medio para debilitar la moral del enemigo. Tanto Sherman en Georgia como Sheridan en el valle Shenandoah actuaron así. Salvo como una política militar deliberada de *Schrecklichkeit*, sin embargo, el Norte no tenía que valerse de este medio. Sus ferrocarriles funcionaban y sus Ejércitos estaban bien pertrechados (salvo cuando contratistas deshonestos y políticos deshonestos decidían medrar vendiéndoles basura).

Los Ejércitos del Sur, en cambio, no podían devastar sus propios campos sin atentar contra su propia causa.

Pero si no lo hacían estaban en un brete, pues su red ferroviaria era inadecuada para la tarea, y lo que es más, cuando el equipo ferroviario sureño se gastaba o rompía casi no había modo de obtener repuestos.

El resultado fue que los Ejércitos confederados siempre estaban mal alimentados, mal vestidos, mal armados. Realizaban proezas de coraje, ¿pero con qué fin? Los Ejércitos de la Unión simplemente aguardaron a que los obreros fabriles de las ciudades del Norte aprendieran a luchar tan bien como los granjeros y jinetes de las fincas sureñas. Una vez que eso ocurrió, la suerte del Sur quedó sellada.

Más aun, mientras el Sur se marchitaba lentamente y agonizaba bajo el bloqueo norteño, el Norte se fortificaba económicamente a medida que proseguía la guerra, gracias a la tecnología.

En 1834 Cyrus Hall McCormick, nacido el 15 de febrero de 1809 en el condado de Rockbridge, Virginia, patentó una cosechadora mecánica tirada por caballos que volvía innecesaria la siega manual que hasta el momento era parte del proceso, permitiendo que un solo hombre hiciera el trabajo de muchos.

Aunque McCormick era sureño, no fue el Sur el que le pidió la máquina. Allí había esclavos que hacían el trabajo a muy bajo costo, y la adquisición de máquinas podía aumentar las posibilidades de mantener esclavos ociosos.

McCormick por lo tanto instaló su fábrica en Chicago, pues el Medio Oeste tenía muchos acres y pocos peones agrícolas y se necesitaba una manera de ahorrar trabajo. Al año había vendido ochocientas cosechadoras, y en la década de 1850 vendía cuatro mil por año.

La mecanización de la agricultura había comenzado y el Medio Oeste empezó a producir grano a un ritmo sin precedentes. Durante las años de la Guerra Civil el Norte pudo vender cantidades de grano a una Europa hambrienta a cambio de todo lo que necesitaba para conservar en marcha sus industrias, mientras el algodón y el tabaco sureño se pudrían en los campos y los depósitos detrás del bloqueo del Norte.

Ni siquiera la pérdida de hombres afectaba seriamente al Norte (es decir, económicamente, pues nadie puede medir el sufrimiento personal producido por el derramamiento de sangre, tanto para los soldados como para sus seres queridos).

En las décadas previas a la Guerra Civil, inmigrantes europeos habían llegado al Norte, donde había fábricas y granjas y ferrocarriles para emplearlos e individuos prósperos que necesitaban sirvientes (que eran libres y podían renunciar cuando se presentaba algo mejor). Pocos inmigrantes, en cambio, se dirigían al Sur, donde era difícil competir con los esclavos, donde el trabajo no especializado de un modo u otro tenía un aura de esclavitud, y donde la mística de la familia y la pureza de sangre limitaba seriamente el ascenso social.

Durante la Guerra Civil la inmigración aumentó en el Norte, pues la industria y la agricultura marchaban a un ritmo más acelerado, mientras que en el Sur se interrumpió del todo. Los inmigrantes llegaron al Norte en tal cantidad que muchos se alistaron en el Ejército. Un tercio de los soldados de las tropas de la Unión eran extranjeros.

Cuando Grant acorraló a Lee en las decisivas batallas de 1864 en Virginia, podía darse el lujo de perder dos hombres por cada uno que perdiera Lee. Podía contar con refuerzos incesantes, mientras que las pérdidas de Lee eran insustituibles. Grant lo comprendió y atacó en forma constante e implacable. Lo llamaban «el carnicero» pero ganó la guerra.

Y cuando la guerra terminó, Estados Unidos le había sacado tanto provecho en el plano tecnológico que se puso a la cabeza de las naciones europeas en riqueza y poder, incluso a la cabeza del orgulloso Imperio Británico.

Sin embargo, nadie lo advirtió en el momento. El europeo tenía el hábito de considerar al norteamericano un hombre de la frontera sin cultura alguna, una especie de bárbaro tosco que sólo tenía cierta habilidad para hacer buenos negocios. En otros aspectos, era objeto de burla y nadie lo tomaba en serio.

Pero se sabe que aunque a través de toda la historia los caballeros siempre se han burlado de los mercaderes, lo cierto es que a la larga los mercaderes ganan y los caballeros pierden. Los mercaderes holandeses derrotaron a los caballeros españoles, y los británicos derrotaron a Napoleón, quien pensaba que la «pérfida Albión» no era más que una nación de tenderos.

Ahora le tocaba el turnó a Estados Unidos.

No es sorprendente que los escritores de ciencia-ficción estuvieran más cerca de la verdad que los diplomáticos y Generales. En 1865, cuando Jules Verne publicó **«De la Tierra a la Luna»**, acerca de los primeros astronautas disparados a la Luna por un cañón gigantesco. ¿a quién atribuyó la hazaña? A los norteamericanos, por supuesto. Ellos habían hecho la nación (y él lo veía con un siglo de adelanto) que llegaría a la Luna.

¿Y cuándo lo vio el resto del mundo...? Bien, eso es para el capítulo 6.

6

HACIA LA CUMBRE

En la primera quincena de febrero de 1976 yo estaba a bordo del *Queen Elizabeth 2*, haciendo un crucero por el Caribe con mi esposa Janet[24].

Teníamos una mesa para dos en uno de los comedores (donde, según me parece cuando lo recuerdo, pasamos casi todo el tiempo); y a nuestra izquierda había otra mesa para dos, ocupada por un austriaco muy simpático y su joven hija, igualmente simpática. Esto era delicioso, porque me dio la oportunidad de practicar *en alemán* mi célebre gentileza con las mujeres jóvenes.

El austriaco, que hablaba inglés, comentaba constantemente las delicias de su nativa provincia de Carinthia (que por alguna razón él llamaba «Kärnten», pero yo tuve la cortesía de no corregirlo) y de Viena. Hablaba muy persuasivamente, además, de tal modo que aunque no tuve ganas de ir a Carinthia, pues no me gusta viajar, sí tuve ganas de que alguien me trajera Carinthia a Nueva York.

En particular, cuando había algún plato europeo en el menú (que desde luego era fabuloso, para delicia mía y desesperación de mi cintura) él lo ordenaba, lo saboreaba, meneaba la cabeza y decía «En Austria lo hacemos mejor». Llegó el momento en que pude predecir exactamente cuándo lo diría y lo decía con él, y ambos reíamos.

El hombre resultó ser un gran viajero, y le sorprendió enterarse de que yo disponía de dinero suficiente para viajar cuándo y adónde quisiera y sin embargo no lo hacía. Se propuso persuadirme describiéndome las maravillas que había visto, y se puso especialmente poético hablándome del Gran Cañón. Cuando se le agotaba el inglés, continuaba en alemán.

—Parece que le gustó el Gran Cañón —dije.

—¿Gustarme? —dijo él—. Fue magnífico, un espectáculo increíble.

Y sin siquiera una mueca dije gravemente:

—Pero en Austria lo hacen mejor, ¿verdad?

—Bien, no —dijo él. *Pero titubeó*.

Sin embargo, un poco de orgullo local no tiene nada de malo. Yo mismo lo tengo. Me gusta mucho Estados Unidos y por esa razón, cuando me puse a escribir un ensayo sobre el ascenso de Estados Unidos al liderazgo tecnológico mundial, me demoré en el asunto y lo extendí a tres ensayos.

En el capítulo 5 mostré a Estados Unidos durante la Guerra Civil y puntualicé que por entonces la Nación ya estaba en camino hacia el liderazgo tecnológico. Aún estaba a mucha distancia del líder del momento, Gran Bretaña, en la producción de carbón y hierro, pero ascendía rápidamente en todos los aspectos.

Pero la pregunta que nos interesa aquí es cuándo la gente llegó a darse cuenta de que Estados Unidos estaba transformándose en el nuevo líder. En cierto modo, el hecho ya se reconocía tácitamente, pues millones de europeos emigraban a Estados Unidos. Entre 1870 y 1890 llegaron cien mil inmigrantes por año, incluso algunos de las Islas Británicas.

En otro sentido, la gente de mentalidad más provinciana, sobre todo en Gran Bretaña, nunca se libró del estereotipo cómico del salvaje norteamericano. Aun en la década del '30,

---

[24] No, no estaba de vacaciones. Di dos charlas en el barco y una tercera en la Isla de Barbados, y escribí dos cuentos a mano.

Agatha Christie, en sus narraciones de misterio[25], con frecuencia presentaba personajes norteamericanos que siempre tenían un nombre como Irma, hablaban con voz nasal, iniciaban sus frases con giros vulgares y en general actuaban como si vivieran en 1840. Una vez observé que uno de sus norteamericanos mascaba tabaco y traía consigo a su esclavo negro, a manera de ejemplo.

Sin embargo, tal vez hubo un momento de cambio, un momento del que podría decirse: «Fue en este instante cuando el liderazgo tecnológico norteamericano tuvo que tomarse en serio». Tengo un candidato para ese punto crucial. Tiene un nombre, y un año.

Primero el nombre. Es Thomas Alva Edison.

Edison nació el 11 de febrero de 1847 en Milan, Ohio, y era hijo de un inmigrante canadiense que a su vez descendía de un norteamericano partidario de los ingleses que después de la guerra revolucionaria había huido a Canadá. La vida de Edison es la clásica historia, tan cara a los norteamericanos, del *self-made man*, del que asciende por los propios esfuerzos: el muchacho humilde que sin educación ni influencias alcanza la fama y la fortuna mediante la inteligencia y el trabajo duro.

Fue un niño asombroso desde el comienzo. Su manera curiosa de formular preguntas constituía una peculiaridad fastidiosa para sus semejantes. Como progresaba poco en la escuela, su madre habló con la maestra, quien le dijo que el niño era un «consentido». La madre se enfureció y lo sacó de la escuela. En todo caso la preocupaba la salud delicada del hijo, y como ella también era maestra profesional pudo encargarse de su educación primaria.

Complementariamente, Edison se volcó a los libros. Su mente excepcional empezó a revelarse, pues recordaba casi todo lo que leía, y leía casi tan rápidamente como daba vuelta las páginas. Era un lector omnívoro, aunque los **«Principia Mathematica»** de Newton fueron demasiado para él. Claro que en esa época tenía sólo doce años.

Cuando se puso a leer textos científicos quiso instalar su propio laboratorio químico. Para obtener dinero para comprar el material y el equipo se puso a trabajar. A los doce años consiguió un puesto de vendedor de diarios en un tren entre Port Huron y Detroit, Michigan (Durante la parada en Detroit pasaba el tiempo en la biblioteca).

Vender diarios no era suficiente para Edison. Compró un equipo impresor de segunda mano y empezó a publicar un periódico semanal propio, el primer periódico que se imprimía en un tren. Con las ganancias instaló un laboratorio químico en el vagón de equipajes. Lamentablemente, una vez estalló un pequeño incendio y lo echaron del tren junto con el equipo.

En 1862 el joven Edison, en el mejor estilo Horatio Alger, vio a un niño en los rieles del ferrocarril y a riesgo de su vida lo salvó de ser aplastado por una locomotora. El padre agradecido, que no tenía dinero para recompensar al joven, se ofreció para enseñarle telegrafía. Edison tenía avidez por aprender y pronto se transformó en el mejor y más rápido telegrafista de Estados Unidos. Con su nueva profesión ganó dinero suficiente para comprarse una colección de textos de Faraday que solidificó su interés en la tecnología eléctrica.

En 1868 Edison fue a Boston como telegrafista y ese año patentó su primer invento, un artefacto para registrar mecánicamente los votos. Pensaba que aceleraría los trámites en el Congreso y que sería bien recibido. Un Congresal, sin embargo, le dijo que nadie deseaba acelerar el procedimiento y que a veces una votación lenta era políticamente necesaria. Después de eso, Edison decidió no inventar nunca nada sin estar seguro de que era aplicable.

En 1869 fue a la Ciudad de Nueva York en busca de empleo. Mientras esperaba una entrevista en el despacho de un agente se rompió una máquina telegráfica. Ninguno de los presentes supo hacer nada, pero el rápido ojo de Edison vio el componente que estaba fuera de lugar. Se ofreció a repararlo y lo hizo, y de inmediato le ofrecieron un empleo mejor del que había esperado.

En pocos meses decidió ser inventor profesional, empezando por un aparato registrador que había diseñado durante su estadía en Wall Street. Planeaba ofrecerlo al Presidente de una gran empresa de Wall Street y pedirle cinco mil dólares a cambio. Mientras esperaba la

---

[25] Estas son, en mi opinión, las mejores que se escribieron jamás, y yo deliberada y conscientemente las imito cuando escribo mis propias narraciones de misterio, aunque desde luego introduzco mis propias mejoras, como verán si leen mi **«Murder at the ABA»**, publicado recientemente (Doubleday, 1976).

entrevista, sin embargo, la cifra le pareció cada vez más astronómica, y cuando llegó el momento de hablar le faltó coraje para expresar su solicitud.

—¿Cuánto quiere pagarme? —tartamudeó.

—¿Cuarenta mil dólares? —sugirió el hombre de Wall Street.

Edison, que aún tenía sólo veintitrés años, ya estaba en marcha. Fundó la primera empresa de técnicos consultores del mundo, y en los seis años siguientes trabajó en Newark, Nueva Jersey, elaborando inventos como el papel encerado y el mimeógrafo, por no mencionar sus importantes mejoras en telegrafía. Trabajaba unas veinte horas diarias, durmiendo de a ratos, y formó un grupo de colaboradores capaces. De algún modo encontró tiempo para casarse.

En 1876 Edison instaló un laboratorio en Menlo Park, Nueva Jersey. Iba a ser una «fábrica de inventos», y eventualmente llegó a tener a su cargo no menos de ochenta científicos competentes. Era el comienzo de la noción moderna del «equipo de investigación».

Esperaba poder realizar un nuevo invento cada diez días. No estuvo muy lejos de esa cifra, pues antes de morir había patentado casi 1.300 inventos, un *record* que ningún inventor igualó jamás. En un momento obtuvo trescientas patentes en un período de cuatro años, o sea una cada cinco días. Lo llamaban «El Brujo de Menlo Park» y cuando él vivía se estimó que sus inventos valían para la humanidad no menos de 25 billones de dólares (de 1930, desde luego).

En Menlo Park inventó el fonógrafo, que fue su invento favorito.

Luego vino 1878. Si el reconocimiento del ingreso de Estados Unidos en el liderazgo tecnológico llevó el nombre de «Edison», también llevó la fecha «1878». Para explicarlo, retrocedamos en el tiempo.

Antes de que los seres humanos se pusieran a jugar con el Universo, había nada menos que tres tipos de luz en la Tierra:

1. Había luz del cielo: el Sol, la Luna, los planetas, las estrellas, el rayo.
2. Había luz de criaturas vivientes, como las luciérnagas.
3. Había luz de los fuegos espontáneos, generalmente provocados cuando un rayo incendiaba un árbol.

El Sol, sin embargo, está ausente del cielo unas doce horas por día. La Luna es un débil sustituto y en general está ausente la mitad de la noche. Los otros cuerpos celestes, el rayo, las luciérnagas, son todos insignificantes. Los incendios forestales son un peligro absoluto.

Si los homínidos primitivos dormían ocho horas por día, como nosotros, estaban inmovilizados en un promedio de un tercio de cada noche, yaciendo en la oscuridad y esperando el alba.

Los homínidos más primitivos que el *Homo Sapiens*, sin embargo, aprendieron a dominar el fuego y eventualmente a producirlo en el momento adecuado. Además de suministrar calor y posibilitar varios progresos tecnológicos (la metalurgia, por ejemplo), el fuego permitió que los seres humanos estuvieran activos un promedio de cuatro horas adicionales por día, prolongando la duración efectiva de la vida en un 17 por ciento.

La iluminación ha sido una necesidad vital de la humanidad desde esas épocas prehistóricas, y a través de cientos de miles de años —hasta hace un siglo— los seres humanos produjeron la luz necesaria mediante la combustión, quemando algo.

El mejor combustible para la iluminación sería algo que arda lentamente y produzca, además del calor, tanta luz como sea posible. La madera ordinaria no es ideal para ese propósito. La madera resinosa es mucho mejor y sirve para buenas antorchas.

La grasa animal es mucho menos común que la madera, pero usada en la misma cantidad produce más luz en forma más conveniente. De la grasa sólida se pudieron hacer velas, con mechas que las atravesaban en toda su longitud. Una mecha también puede flotar en el aceite líquido conservado en un recipiente (una «lámpara», de una palabra griega que significa «dar luz»).

Todas estas fuentes de luz —hogueras, antorchas, velas, lámparas— son de origen prehistórico, y nada esencialmente nuevo se añadió a través de la historia hasta el siglo diecinueve.

Con el siglo diecinueve el ritmo de los cambios se aceleró. Con el fuego de la madera no podía hacerse mucho, y el fuego de carbón, que ahora era algo común, era más pobre como

fuente de luz, aunque implicara una mejora en lo concerniente al calor. Con las grasas y aceites la historia era diferente.

En 1835 el químico francés Michel Eugène Chevreul que había aislado ácidos resinosos de grasas y aceites naturales, patentó un proceso mediante el cual se podían elaborar velas con esos ácidos. Esas velas eran más duras que las velas anteriores, ardían más despacio y brillantemente, y despedían mucho menos olor.

En cuanto a los combustibles líquidos, el sebo de ballena resultó ser particularmente útil en lámparas, e incitó a la matanza indiscriminada de esas enormes e inofensivas criaturas marinas. Más tarde fue reemplazado por el queroseno, que derivaba del petróleo.

El gran progreso en iluminación del siglo diecinueve fue, sin embargo, la introducción de la iluminación de gas. Los gases tenían la propiedad de arder más claramente, y con menos humo, que los sólidos y los líquidos. Podían ser conducidos hasta el punto deseado por cañerías que partían de un depósito central, y la cantidad de luz era más fácil de regular que con los combustibles líquidos o sólidos.

La primera vez que se usó el gas para la iluminación pública fue en París, en 1801, por obra del químico francés Philippe Lebon, quien obtuvo el gas necesario calentando madera en ausencia de aire («destilación destructiva»). Había experimentado con iluminación de gas desde 1797, dedujo buena parte de los requerimientos técnicos y previó todas las posibles aplicaciones. Pero Francia estaba en medio de las guerras napoleónicas en esa época, y Lebon mismo murió en 1804, de modo que el liderazgo en iluminación de gas pasó a Gran Bretaña.

Allí, el inventor escocés William Murdock también trabajaba en iluminación de gas. Obtenía su gas inflamable de la destilación destructiva del carbón. Hizo su primera exhibición pública de iluminación de gas en Londres, en 1802, para celebrar la temporaria Paz de Amiens con Napoleón. En 1803 utilizaba mecheros de gas para alumbrar su fábrica principal, y en 1807 algunas calles de Londres empezaron a usar iluminación de gas.

Hacia 1825 la iluminación de gas ya era común en los edificios públicos londinenses, y también en fábricas y tiendas, pero durante años la llama fue sucia y olorosa. Sólo cuando se elaboraron métodos para introducir aire en el tubo de gas antes del encendido la llama fue limpia e inodora. Esto sucedió alrededor de 1840 (En 1855 el químico alemán Robert Wilhelm Bunsen diseñó una versión simple de ese mechero de gas para uso de laboratorio, y el «mechero Bunsen» ha sido enormemente útil en los laboratorios químicos desde entonces).

En la década de 1870, pues, la iluminación de gas era el método elegido para alumbrar las calles y hogares de las ciudades de los países más progresistas.

Sin embargo, como todo otro método de iluminación desde el fuego de la madera, el mechero de gas implicaba una llama descubierta. En realidad, mientras la luz se obtuviera de la combustión la llama descubierta parecería una necesidad, pues el oxígeno del aire tenía que estar en contacto con el combustible que ardía y el dióxido de carbono producido necesitaba una salida.

La llama descubierta acompañaba a la humanidad, pues, desde hacia medio millón de años, y era peligrosa.

¿Quién puede contar cuántas veces esa llama apenas controlada se descontroló, arrasando casas y ciudades de madera y destruyendo dolorosamente a seres humanos de carne y hueso?

Más aun, la llama descubierta es generalmente opaca (para nuestro punto de vista) e invariablemente tembleque. Leer o realizar cualquier trabajo manual a la luz de una llama descubierta debía de ser por cierto mucho más fatigoso para la vista a causa de la constante oscilación de las sombras.

¿Pero cómo alumbrar sin llama descubierta? ¿Cómo obtener luz sin combustión?

El primer indicio de que esto era posible surgió observando las chispas de artefactos de electricidad estática[26]. Empleando baterías para producir una corriente eléctrica constante, se podía producir una chispa eléctrica permanente entre dos electrodos de carbón. El ingeniero eléctrico W. E. Staite experimentó durante años con esas «lámparas de arco voltaico» y a partir de 1846 hizo impresionantes demostraciones públicas de su utilización.

El arco voltaico era mucho más brillante que la llama ordinaria. Sin duda, tenía el mismo calor y podía producir el mismo fuego que una llama, pero no necesitaba una corriente de aire constantemente renovada para conservarse o para despedir los desechos, de modo que podía

[26] Véase *«The Fateful Lightning»*, en **«The Stars in Their Courses»** (Doubleday, 1971).

encerrarse en un recipiente de vidrio. Sin embargo, la chispa oscilaba más que una llama y era difícil de regular.

Un modo de lograr que la luz producida mediante electricidad no oscilara era enviar corriente eléctrica por un alambre de metal difícil de fundir y dejar que el alambre se pusiera incandescente. El alambre no oscilaba, y la luz tampoco. Lamentablemente, a esas altas temperaturas el metal se consumía. Aun el platino, un metal resistente e inerte, se combina lentamente con el oxígeno y se quiebra, de modo que esa «luz incandescente» duraría muy poco.

La solución obvia, luego, era encerrar el alambre incandescente en un recipiente de vidrio al vacío. Entonces no habría oxígeno para que el metal del alambre se combinara con él. Sin embargo, es fácil hablar de un recipiente de vidrio al vacío, pero producirlo es mucho más difícil.

A partir de 1820 los inventores (sobre todo en Gran Bretaña) trataban de elaborar lo que hoy llamaríamos una lámpara eléctrica. El más exitoso en este sentido fue el físico inglés Joseph Wilson Swan. Fue el primero en vislumbrar claramente que aun si producía una lámpara eléctrica eficaz con filamento de platino terminaría siendo muy cara para la utilización masiva. Se le ocurrió que el carbón tenía un punto de fundición tan elevado como el del platino y podía sustituirlo.

Por supuesto, el carbón no es un metal y no sirve para fabricar alambre. Sin embargo, en 1848 Swan comenzó a utilizar tiras delgadas de papel carbónico dentro de un recipiente de vidrio al vacío. Durante casi treinta años siguió experimentando con esto y mejorando el modelo, pero siempre tenía un elemento en contra: el vacío del recipiente nunca bastaba, y tras arder brevemente el filamento de carbón se consumía y oscurecía (También los filamentos de platino).

En 1878, pues, hacía más de medio siglo que los inventores trabajaban con la lámpara de luz eléctrica sin llegar a ninguna parte. En ese año, Thomas Alva Edison, el Brujo de Menlo Park, anunció que *él* lo intentaría también.

Bastó ese solo anuncio para que las acciones de las compañías de iluminación de gas bajaran en las bolsas de Nueva York y Londres. ¡La fe en el joven inventor (tenía apenas treinta y un años) era absoluta!

A mi juicio, la baja de esas acciones es un indicio muy claro de que la comunidad inversora de Gran Bretaña estaba tomando en serio la tecnología norteamericana, y podría suponerse que en ese momento se tuvo la sospecha cierta de que el liderazgo tecnológico mundial estaba del otro lado del Atlántico.

Edison no defraudó al mundo. En ese momento el arte de preparar un recipiente al vacío había alcanzado el punto en que la luz eléctrica era posible, y sólo quedaba hallar el filamento adecuado. Aparentemente Edison no estaba al tanto del trabajo de Swan, pues le llevó un año de experimentación y cincuenta mil dólares descubrir que los alambres de platino no servían y probar con una hebra de algodón chamuscado.

El 21 de octubre de 1879 Edison fabricó una lámpara con un filamento de carbón que ardía cuarenta horas consecutivas. La luz eléctrica era por fin una realidad y recibió la patente de invención número 222.898 de los Estados Unidos. En la siguiente víspera de Año Nuevo, la calle principal de Menlo Park fue iluminada eléctricamente en una demostración pública que presenciaron tres mil personas (casi todas de Nueva York).

Para que la luz eléctrica fuera comercial, Edison tuvo que desarrollar un sistema generador que suministrara electricidad cuando fuera necesario y en cantidades variables, pues las luces se apagaban y encendían. Esto requería mucho más ingenio que la luz eléctrica en sí, pero para 1881 Edison había construido una planta generadora y al cabo de un año estaba alimentando cuatrocientas bocas distribuidas entre ochenta y cinco clientes.

Entretanto Swan, en Gran Bretaña, había producido por su cuenta lámparas eléctricas eficaces, y en 1881 la Casa de los Comunes fue iluminada eléctricamente. Edison y Swan zanjaron las diferencias y en 1883 formaron una compañía en Gran Bretaña.

No tengo que enfatizar cuántos problemas de alumbrado ha resuelto la luz eléctrica en el último siglo, y lo insoportable que sería tener que volver a la llama descubierta. Entre otras cosas, consideremos, pese a la posibilidad de filamentos defectuosos, cuánto ha disminuido el peligro de incendio mediante la utilización de fuentes de iluminación cerrada y la eliminación de la llama descubierta.

Desde luego, los incendios accidentales continúan produciéndose, pues la llama descubierta no ha sido abolida del todo. Todavía hay llamas descubiertas en las cocinas y hornallas de gas y en los motores de combustión interna. Ante todo, está ese elemento que casi equivale a una llama descubierta y cientos de millones de personas del mundo llevan consigo: el cigarrillo y su acompañante, el fósforo. ¡Esos son los auténticos villanos!

Desde luego, podría argumentarse que la baja de las acciones después del anuncio de Edison no indicaba en absoluto un reconocimiento del liderazgo tecnológico norteamericano, sólo del de Edison.

No es así, sin embargo. Edison era simplemente el mejor y más célebre ejemplo de lo que ocurría en Estados Unidos, pero no era en absoluto un ejemplo aislado. No era más que el líder de un vasto rebaño, y bajo el fulgor de su genio la tecnología norteamericana resplandecía brillantemente de un océano al otro.

La virtual explosión tecnológica que tuvo lugar en la última mitad del siglo diecinueve en Estados Unidos fue, además, estimulada por la libre política inmigratoria del país, pues desde toda Europa no sólo llegaban manos sino cerebros.

Fue un inmigrante sueco, John Ericsson, quien construyó el acorazado *Monitor* de la Armada, en 1871, volviendo obsoletas otras naves de guerra. Fue un inmigrante escocés, Alexander Graham Bell, quien inventó el teléfono en 1876. El inmigrante alemán Charles Proteus Steinmetz y el inmigrante croata Nikola Tesla llevaron la teoría y la práctica de la electricidad mucho más lejos que el mismo Edison.

Luego vino 1898, que vio una demostración de la eficacia de la tecnología norteamericana que no dejaba ningún lugar a dudas.

Ese año Estados Unidos entró en guerra con España. Era una guerra prefabricada y España no era un enemigo muy temible. Aun así, el Ejército norteamericano era tan pequeño y estaba tan mal manejado que si el enemigo hubiera sido algo mejor que las fuerzas españolas en Cuba, increíblemente ineptas, Estados Unidos habría terminado en un serio aprieto.

En el mar, las cosas fueron diferentes. La Armada norteamericana era pequeña comparada con la británica, pero estaba recién construida y sus buques muy avanzados tecnológicamente. El secretario asistente de la Armada, Theodore Roosevelt, se había preparado para la guerra, en ausencia de su superior, enviando seis buques al mando del Comodoro George Dewey a Hong Kong, donde estarían preparados para atacar a la Flota española en las islas Filipinas.

La guerra se inició el 24 de abril de 1898, y en cuanto la noticia llegó a oídos de Dewey, el Comodoro zarpó hacia Manila con sus seis naves. Allí lo esperaban diez buques españoles y las baterías costeras españolas, y los británicos de Hong Kong estaban seguros de que navegaba rumbo a la destrucción.

Al alba del 19 de mayo de 1898 empezó la Batalla de la Bahía de Manila, y siete horas después todos los buques españoles estaban hundidos o averiados y 381 españoles habían muerto. Ningún barco norteamericano sufrió daños significativos, ningún norteamericano murió, y sólo ocho marineros norteamericanos sufrieron heridas.

Entretanto, en Cuba, otra Flota española fue acorralada por otra flota norteamericana. El 3 de julio la Flota española trató de hostigarla y los barcos norteamericanos respondieron. En cuatro horas todos los buques españoles fueron destruidos, con una pérdida de 474 españoles entre muertos y heridos, además de 1.750 prisioneros.

Ningún barco norteamericano sufrió daños de significación, un norteamericano murió y uno fue herido.

Que Estados Unidos hubiera ganado la guerra no era demasiado asombroso, pero esas victorias navales eran impresionantes. Dos batallas navales se habían librado casi simultáneamente en lugares opuestos del mundo, y el triunfo había sido ridículamente abrumador.

Esto no podía adjudicarse a la falta de espíritu combativo de los españoles, pues la historia militar ha demostrado que los españoles siempre han luchado como demonios en cualquier condición. Además, España no carecía de tradición naval. Durante cuatro siglos había poseído una armada importante.

No fue sólo esto: en la segunda mitad del Siglo diecinueve, el arte de la construcción naval había sufrido progresos tecnológicos enormes. Ninguna nación que no estuviera

tecnológicamente avanzada podía librar una batalla naval contra una que sí lo estuviera e infligir siquiera un rasguño al enemigo.

Estados Unidos acababa de demostrar aun a las mentalidades militares más conservadoras del mundo que estaba tecnológicamente avanzado, y con la Guerra Hispano-Norteamericana pasó a integrar ese peligroso grupo de naciones conocido como las «Grandes Potencias».

La acción de Gran Bretaña fue aun más significativa. Mientras Estados Unidos luchaba con España, Gran Bretaña se preparaba para lanzar su Ejército mal entrenado contra los boers, y pronto sufrió derrotas humillantes. A Gran Bretaña le llevó tres años ganar esa guerra, y durante el proceso cayó en la cuenta de que el mundo entero simpatizaba con los boers.

Alemania, especialmente, no disimuló su placer ante las dificultades de los británicos y ya comenzaba a construir una armada propia. Combínese esto con el Ejército alemán —el mejor del mundo—, y era obvio que el dominio mundial de Gran Bretaña se tambaleaba.

Pero a través del siglo diecinueve Gran Bretaña y Estados Unidos habían sido «enemigos tradicionales» y no pasaba una década sin que estallara una crisis bélica entre ambos. Ahora Gran Bretaña advirtió que no le convenía dejar que las armadas alemana y norteamericana se uniera contra ella. A partir de 1898, pues, Gran Bretaña, nunca más se entrometió con Estados Unidos. Hiciera lo que hiciere este país, Gran Bretaña sonreía y accedía.

El resultado fue que ambas naciones dejaron de ser enemigas. Durante el siglo veinte Gran Bretaña y Estados Unidos lucharon juntas, en guerras calientes y frías; contra Alemania, Japón y la Unión Soviética.

Pueden analizarse los acontecimientos del mundo en términos de política, ideología o aun de diplomacia internacional; yo sigo pensando que la clave es la tecnología.

IV

NUESTRO PLANETA

7

EL HIELO Y LOS HOMBRES

¿Existe un hombre tan insensible como para no sospechar jamás que el Universo conspira contra él?

Un ejemplo. Con frecuencia, tengo que viajar para dar alguna conferencia. Como no vuelo, voy en automóvil.

Estoy *convencido* de que la incidencia de lluvia en los días que manejo es mucho más alta que la incidencia de lluvia general.

Siento una especie de amarga satisfacción cuando salgo en un día espléndido y soleado mientras el informe meteorológico predice a voz en cuello sequías prolongadas, y luego veo los nubarrones que se acumulan y los goterones que empiezan a caer. Me da la cálida sensación de saber que el campo recibirá la ansiada lluvia sólo gracias a mí y mi buen automóvil.

Otro caso. Compré una casa en Newton, Massachusetts, y me mudé allí el 12 de marzo de 1956. Por primera vez en la vida era propietario. Era una casa agradable, no muy grande, con un garaje para dos coches en la planta baja, y una calzada bonita, ancha y profunda. Ya no tendría que estacionar el auto en el cordón.

El 16 de marzo de 1956 empezó a nevar. En la mañana del 17 de marzo había un metro de nieve en la calzada. Nunca había paleado nieve en mi vida (una de las ventajas de ser un eterno inquilino) pero había comprado una pala para nieve como símbolo de posesión de la tierra (también había comprado una cortadora de césped). Tomé la nueva pala y me puse a trabajar con un entusiasmo que, como podrán imaginar, decreció rápidamente.

Me pasé tres días sudando, paleando, gruñendo y bufando, hasta que la calzada finalmente quedó libre. En la mañana del 20 de marzo pude ver de nuevo la calzada limpia, entre montañas de hielo.

El 20 de marzo tuvimos una segunda tormenta y *un metro veinte* de nieve se acumuló en la calzada. Es un recuerdo doloroso en el que no me detendré demasiado esta vez, ¿pero alguien tendrá la amabilidad de explicarme por qué la peor nevisca doble en la historia del servicio meteorológico de Boston tenía que caer la primera semana en que yo tenía mi propio garaje y calzada?

Pero hay un consuelo. Ese trabajo representó mi experiencia personal de una edad de hielo y ahora me posibilita escribir sobre ella y su efecto sobre los seres humanos con una sensación de íntima autoridad. Sin embargo, escribiré sobre las edades de hielo a mi manera propia e inimitable: con desenfado.

Imaginen a la Tierra girando alrededor del Sol. La curva de la órbita forma un plano; es decir, se puede imaginar un plano infinitamente delgado que atraviesa el centro de la Tierra y el centro del Sol, y la Tierra, en su trayecto alrededor del Sol, permanecerá siempre en ese mismo plano.

Si el eje de rotación de la Tierra fuera exactamente perpendicular al plano orbital, la mitad soleada de la esfera terrestre estaría constantemente limitada por el Polo Norte al norte y por el Polo Sur al sur. Mientras la Tierra rotara sobre su eje girando alrededor del Sol, eso no cambiaría.

Si así fuera, una persona que estuviera ya en el Polo Norte o en el Polo Sur, en una extensión de terreno perfectamente chata hasta el horizonte en todas las direcciones, vería siempre al Sol en el horizonte[27] y moviéndose parejamente encima del horizonte, de este a oeste, y completando un círculo cada veinticuatro horas.

---

[27] El efecto de la refracción atmosférica en realidad lo elevaría apenas por encima del horizonte.

En realidad, sin embargo, el eje tiene una inclinación de 23,44229 grados respecto del plano orbital, lo cual nos arruina esa bonita figura.

Imaginemos a la Tierra ubicada de tal modo en su órbita que la parte norte del eje quedara inclinada directamente hacia el Sol (véase Figura 1), toda la zona frígida del norte —toda la superficie terrestre dentro del ángulo de 23,44229 grados formado con el Polo Norte— quedaría en ese caso expuesta al Sol.

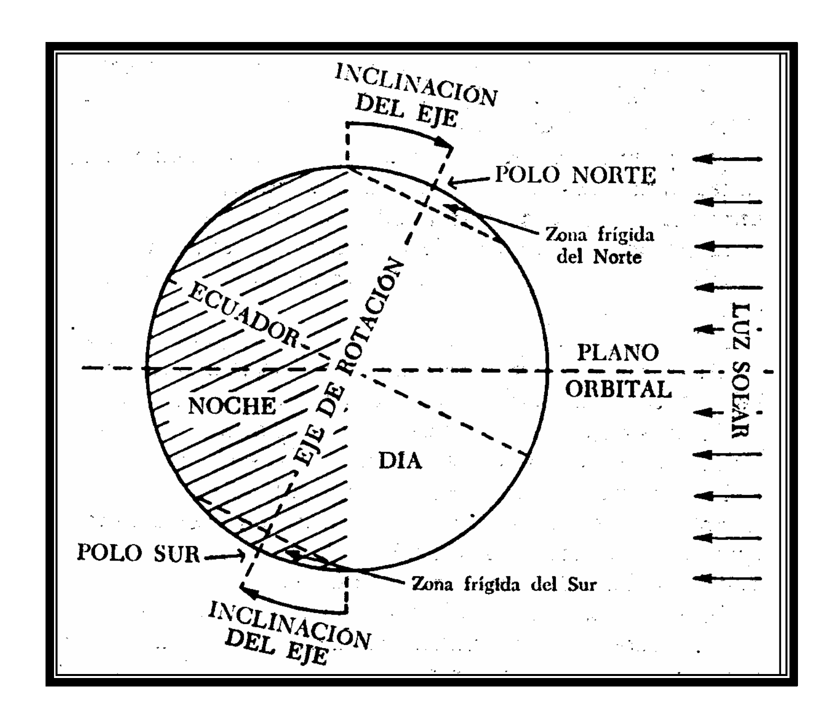


Figura 1: La inclinación del eje

Para cualquier observador dentro de esa zona, en esas circunstancias, el Sol trazará un circulo en el cielo sin ponerse nunca. En el Polo Norte, el Sol trazará un circulo plano, 23,44229 grados por encima del horizonte (si ignoramos el efecto de la refracción atmosférica). A cierta distancia del Polo Norte, el Sol trazará un círculo inclinado, alcanzando el punto más alto a mediodía y el más bajo a medianoche. A una distancia de 23,44229 grados del Polo Norte, el Sol rozará el horizonte a medianoche.

La zona frígida del sur, por el contrario, en las mismas circunstancias estará totalmente a oscuras, y el Sol no se elevará en absoluto durante el día. A una distancia de 23,44229 grados del Polo Sur, el Sol apenas rozará el horizonte a mediodía, en general, en estas condiciones, todo el hemisferio septentrional tendrá más luz que oscuridad, y todo el hemisferio meridional tendrá más oscuridad que luz.

La situación que acabo de describir es la que existe en el solsticio de verano, que según nuestro calendario ocurre el 21 de junio.

Sin embargo, mientras la Tierra gira alrededor del Sol la dirección del eje en relación con las estrellas no cambia. Medio año después del solsticio de verano, cuando la Tierra está en el otro extremo de su órbita, el eje está inclinado de tal modo que el Polo Norte apunta hacia el lado opuesto al Sol. En ese momento, el 21 de diciembre, el solsticio de invierno, la situación es exactamente igual a la descripta para el 21 de junio, salvo que el norte y el sur han cambiado los lugares.

En el solsticio de invierno es la zona frígida del sur la que recibe luz las veinticuatro horas, y el hemisferio meridional el que en general recibe más luz que oscuridad, mientras la zona frígida del norte está a oscuras las veinticuatro horas del día y el hemisferio septentrional recibe en general más oscuridad que luz.

Del 21 de junio al 21 de diciembre, con la traslación de la Tierra, los días se acortan y las noches se alargan en el hemisferio septentrional, mientras que los días se alargan y las noches se

acortan en el hemisferio meridional. Del 21 de diciembre al 21 de junio la situación se invierte. Durante medio año, centrado en el 21 de junio, el hemisferio septentrional recibe más luz y calor del sol que el meridional. Durante medio año, centrado en el 21 de diciembre, la situación se invierte.

Es la inclinación del eje, pues, lo que causa las estaciones. Los meses centrados en el solsticio de verano comprenden la primavera y el verano en el hemisferio septentrional, el otoño y el invierno en el hemisferio meridional[28]. Para los meses centrados en el solsticio de invierno, es otoño e invierno en el hemisferio septentrional, primavera y verano en el meridional.

Esta disparidad se empareja durante el año. Los cambios son prácticamente simétricos en el norte y el sur, y a la larga cada rincón de la superficie terrestre recibe cantidades similares de oscuridad y luz (En realidad, como resultado de la refracción atmosférica, cada rincón de la superficie terrestre recibe un poco más de luz que de oscuridad y esta disparidad se acentúa más cuanto más cerca estamos de los polos).

La luz, sin embargo, no es igualmente efectiva en todas partes. Cuánto más nos alejamos del Ecuador más bajo está el Sol en el cielo, y se recibe menos calor por metro cuadrado. En general, pues, la temperatura local disminuye cuando nos alejamos del Ecuador, hacia el norte o hacia el sur.

La Tierra es un planeta muy acuoso y su temperatura media no está muy por encima del punto de congelación del agua.

Cuanto más nos alejamos del Ecuador en una u otra dirección, y a medida que decae la temperatura local *e*s cada vez más probable que la temperatura disminuya al punto de poder congelar el agua. Alrededor de cada polo, pues, hay hielo, y durante el medio año centrado en el solsticio de invierno el hielo tiende a avanzar en el norte y a retroceder en el sur. Durante el medio año centrado en el solsticio de verano, el hielo tiende a retroceder en el norte y a avanzar en el sur.

La inclinación del eje produce pues un vaivén pendular del hielo, y el vaivén produce fases opuestas en ambos hemisferios.

Pero el vaivén tiene su equilibrio. Cada avance llega aproximadamente al mismo punto en invierno, y cada retroceso al mismo punto en verano. La cantidad de hielo producida en invierno es compensada por la cantidad de hielo derretido en verano, y el total se mantiene dentro de ciertos límites.

¿Pero será siempre así? ¿Qué ocurriría si por alguna razón en invierno se produjera más hielo del que se derrite en verano? Entonces cada año se acumularía un poco más que el existente el año anterior y el mundo poco a poco, tendría casquetes de hielo mucho más extensos.

¿Podría suceder? Sí, podría. Sabemos que podría suceder en el futuro porque ha sucedido en el pasado, y varias veces. Han habido períodos glaciares recurrentes con una suerte de periodicidad.

¿A qué se deben? Si ahora todo está en equilibrio, ¿cuál podría ser la causa del desequilibrio?

¿Es posible que el Sol, por algún motivo, se enfríe un poco en ciertos momentos? No hay ninguna evidencia de ello. ¿Pudo el Sol atravesar regiones del espacio donde el polvo cósmico era más espeso y absorbió el calor solar antes de que llegara a la Tierra? Tampoco hay evidencias.

Así que detengámonos un poco más en la órbita terrestre para ver si hay alguna irregularidad.

Si la Tierra girara alrededor del Sol en un círculo perfecto, con el Sol como centro exacto del círculo, la Tierra permanecería constantemente a la misma distancia del Sol. Salvo alteraciones en el Sol mismo o en el espacio que lo rodea, la Tierra recibiría en ese caso una dosis de calor homogénea.

Pero no es así. Tal como el astrónomo alemán Johannes Kepler lo señaló por primera vez en 1609, la Tierra gira elípticamente alrededor del Sol.

Una elipse puede ser descripta, en forma no matemática, como una especie de círculo achatado (ver Figura 2).

---

[28] Llamar solsticio de verano al 21 de junio es puro chauvinismo del hemisferio septentrional.

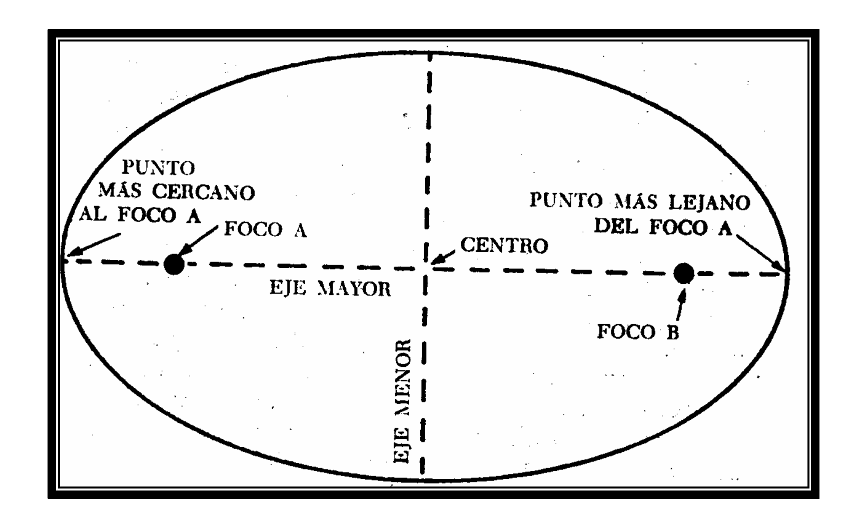


Figura 2: La elipse

En un círculo, cada diámetro (o sea, cada línea recta que atraviese el centro desde uno u otro lado del círculo hasta el otro) posee la misma longitud. En una elipse, los diámetros varían en la longitud. El diámetro más corto va de un lado achatado al otro lado achatado, y es el «eje menor». En ángulo recto con el eje menor está el diámetro más largo, que es el «eje mayor». El punto donde ambos ejes se cruzan es el centro de la elipse.

En el eje mayor hay dos puntos llamados «focos», uno a un lado del centro y el otro en la misma posición del otro lado del centro. Una propiedad de la elipse es ésta: si se traza una línea recta desde un foco hasta cualquier punto de la curva de la elipse, y desde ese punto se traza otra línea hasta ese foco, la longitud total de ambas líneas es siempre la misma y siempre equivale a la longitud del eje mayor.

Si nos concentramos en uno de los focos (llamémoslo Foco A), descubrimos que su distancia hasta la curva de la elipse cambia continuamente con el desplazamiento de la curva. La parte de la elipse más cercana al Foco A es el extremo del eje mayor en el mismo lado del centro. La parte de la elipse más alejada del Foco A es el extremo del eje mayor del otro lado del centro.

Cuanto más chata la elipse, más alejados están ambos focos del centro y entre sí.

Si la elipse es apenas achatada, entonces ambos focos están más cerca del centro y entre sí. La diferencia en distancia de un foco al extremo cercano al eje mayor y del mismo foco al extremo alejado del eje mayor no es entonces muy grande. Si la elipse es muy achatada, ambos focos están muy separados del centro y entre sí, y están muy cerca de los extremos opuestos de la elipse. En ese caso, cada foco está muy cerca del extremo cercano al eje mayor y muy lejos del extremo lejano. La diferencia en distancia de un foco a diversas partes de la elipse es en tal caso enorme.

Otro modo de encararlo es éste:

Cuanto más chata es una elipse, más alejados entre sí están los focos y más cerca de los extremos de la elipse. Por lo tanto, cuanto más chata es una elipse más amplia es la distancia entre los focos en relación con la longitud del eje mayor. La proporción de la distancia entre los focos y la longitud del eje mayor se llama «excentricidad» (de palabras griegas que significan «fuera de centro»).

Cuando una elipse está achatada infinitesimalmente, los focos están a una distancia infinitesimal del centro y entre sí, de modo que la excentricidad equivale virtualmente a cero. Si la elipse es tan chata que se diferencia sólo infinitesimalmente de una línea recta, los focos están apenas a una distancia infinitesimal de los extremos de la línea recta y la excentricidad equivale virtualmente a uno. Para cualquier elipse, la excentricidad oscila entre 0 y 1, y cuanto menor sea el valor más se aproxima la elipse a un círculo.

¿Cómo se relaciona todo esto con la órbita de la Tierra alrededor del Sol?

Bien, no sólo la órbita es una elipse, sino que el Sol no está ubicado en el centro sino en uno de los focos. Eso significa que si imaginamos una línea trazada entre el eje mayor de la

órbita elíptica de la Tierra, el Sol estará en esa línea, pero más cerca de un extremo de la elipse que del otro (ver Figura 3).

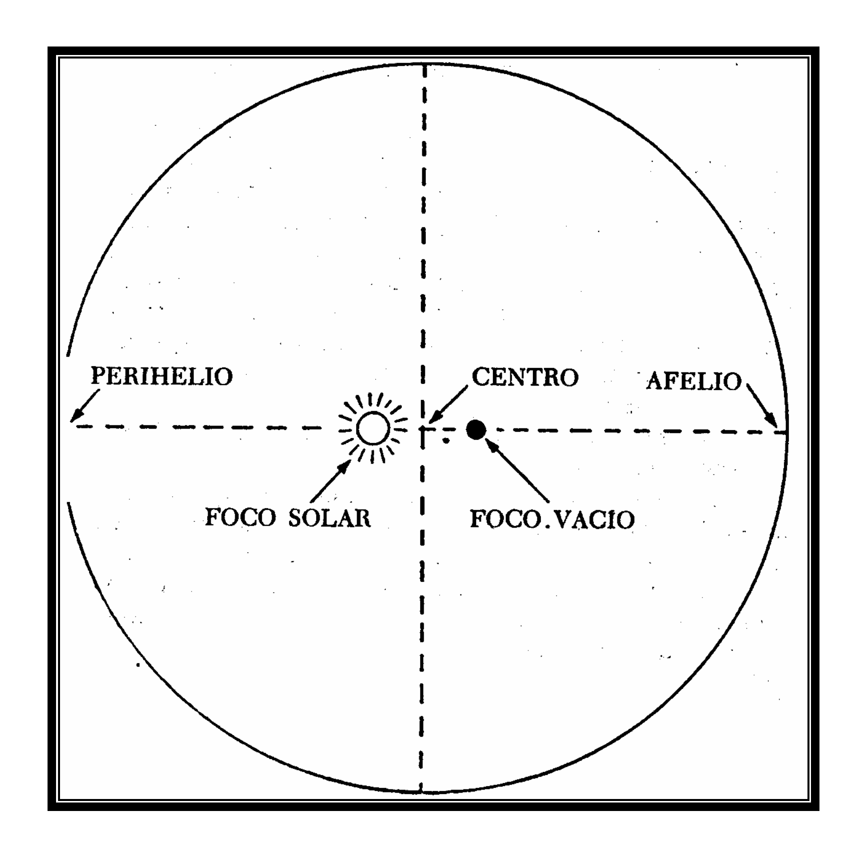


Figura 3: Perihelio y afelio

Cuando la Tierra pasa por el extremo del eje mayor que está del mismo lado del centro que el foco del Sol, la Tierra se encuentra a una distancia mínima del Sol. Está entonces en el «perihelio» (de palabras griegas qué significan «cerca del Sol»). Seis meses después está en el otro extremo del eje mayor, y está en el punto más alejado del Sol. Entonces está en el «afelio» (de palabras griegas que significan «lejos del Sol»).

Afortunadamente para la vida en la Tierra, la excentricidad de la elipse orbital terrestre no es muy elevada. En realidad es de sólo 0,01675 y si se trazara una elipse que tuviera exactamente esa excentricidad, a ojo no podría distinguírsela de una circunferencia.

De todos modos, en una elipse tan enorme como la órbita terrestre, aun una excentricidad pequeña es grande en kilómetros. El eje mayor de la órbita terrestre es de 299.000.000 de kilómetros de longitud, y los dos focos están separados entre sí por 5.002.000 kilómetros.

En el perihelio, pues, la Tierra está 5.002.000 kilómetros más cerca del Sol que en el afelio. En el perihelio la Tierra está a 147.000.000 de kilómetros del Sol, mientras que en el afelio la Tierra está a 152.000.000 de kilómetros del Sol.

La diferencia es de un 3,3 por ciento, que en realidad no es demasiado. Significa que la esfera visible del Sol es ligeramente mayor en el perihelio que en el afelio, pero no tanto para que quienes no son astrónomos lo noten. Significa que la Tierra se desplaza más rápidamente en la mitad de la órbita correspondiente al perihelio que en la correspondiente al afelio, de modo que las estaciones no duran exactamente lo mismo, ¿pero quién lo nota?

Finalmente, sin embargo, significa que en el perihelio obtenemos más calor solar que en el afelio. El calor que recibimos varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, de modo que la Tierra recibe un 7 por ciento más de calor en el perihelio que en el afelio.

Considerémoslo de este modo. A mitad de camino entre el perihelio y el afelio (en un extremo del eje menor de la elipse) la Tierra está a una distancia promedio del Sol y recibe una cantidad promedio de calor.

Si entonces avanza hacia el perihelio, a través del perihelio y de vuelta al extremo opuesto del eje menor, durante esa mitad de la órbita terrestre la Tierra está recibiendo una cantidad de calor solar superior al promedio, con un máximo de poco más del 3 por ciento sobre el promedio en el perihelio.

Luego, cuando la Tierra avanza por el afelio, de vuelta al punto de partida, recibe un calor inferior al promedio en esa mitad de la órbita, con un mínimo de poco más del 3 por ciento menos del promedio en el afelio. ¿Importa?

No importaría si el eje de la Tierra fuera perfectamente derecho, pues ambos hemisferios compartirían equitativamente las diferencias en la recepción de calor a lo largo del año. Pero el eje está inclinado. ¿En qué afecta las cosas?

La Tierra llega al perihelio el 2 de enero[29] y al afelio el 2 de julio. Sucede que el 2 de enero cae menos de dos semanas después del solsticio de invierno, mientras que el 2 de julio viene a caer dos semanas después del solsticio de verano.

Esto significa que en el momento en que la Tierra está en el perihelio o cerca del perihelio, recibiendo más calor que de costumbre, el hemisferio septentrional está en pleno invierno mientras que el meridional está en pleno verano. El calor extra significa que el invierno septentrional es más templado que si la órbita terrestre fuera circular, mientras que el verano meridional es más caliente.

En el momento en que la Tierra está en el afelio o cerca del afelio y recibiendo menos calor que de costumbre, el hemisferio septentrional está en pleno verano, mientras que el meridional está en pleno invierno. La deficiencia de calor significa que el verano septentrional es más fresco que si la órbita terrestre fuera circular, mientras que el invierno meridional es más frío.

Como vemos, pues, la combinación de la órbita terrestre elíptica con el eje inclinado produce una asimetría. El hemisferio septentrional sufre un cambio menos extremo entre verano e invierno que el meridional. La diferencia no es mucha, pero existe.

Esto podría ser tomado como señal de que el avance y retroceso del hielo en el sur es más extremo que en el norte. Los inviernos más fríos del sur implican un avance mayor del hielo que en el norte. Los inviernos más cálidos del sur significan un retroceso mayor del hielo que en el norte. Ustedes podrían pensar que esto significa que el hemisferio meridional sufre actualmente mayor peligro de un período glacial que el hemisferio septentrional.

Si piensan así, se equivocan. Lo que en realidad provoca un período glacial es el cambio menos extremo, pues las alteraciones en la acumulación de hielos son más sensibles a los cambios de temperatura estival que a los de temperatura invernal.

Así, una temperatura invernal media ligeramente inferior no significa necesariamente más nieve, ni una temperatura invernal media ligeramente superior no significa necesariamente menos nieve. Es más bien a la inversa. Una temperatura invernal ligeramente superior (pero que esté aún por debajo del punto de congelación) significa más vapor de agua en el aire y por lo tanto, *más* nieve.

Por lo demás, una temperatura estival ligeramente inferior significa menos derretimiento, y no hay alternativa contraria.

El hemisferio septentrional, con sus inviernos y veranos ligeramente más templados, tiende a tener más nieve y menos derretimiento, pues, que el meridional, de modo que si hay algún peligro de que sobrevenga una edad glacial es ante todo en el norte.

Pero el hemisferio septentrional ha sufrido períodos glaciales en el pasado. Si la oscilación de temperatura entre verano e invierno propicia un período glacial ahora, ¿por qué se detuvieron los del pasado?

Bien, en el curso de la mitad de la órbita terrestre que está más cerca del Sol, la Tierra, que sufre una atracción gravitacional mayor, se desplaza un poco más rápido que en la otra mitad. Esto significa que a la Tierra le lleva unos 186,5 días pasar de un extremo al otro del eje menor de la elipse orbital a través del afelio hasta el otro extremo del eje menor. A la Tierra le lleva sólo unos 178,8 días pasar de ese extremo del eje menor a través del perihelio hasta llegar al extremo inicial.

[29] Es mi cumpleaños, pero supongo que no tiene nada que ver.

En el hemisferio septentrional, el otoño y el invierno corresponden a la mitad de la órbita del perihelio y duran sólo 178,8 días en total. La primavera y el verano corresponden a la mitad del afelio y duran 186,5 días.

El invierno septentrional, pues, que tiene la potencialidad de producir más nieve porque es ligeramente más templado que el meridional, es más corto y por lo tanto no produce tanta nieve como lo haría si las estaciones tuvieran la misma duración. El verano septentrional, que tiene menos potencialidad de derretimiento porque es ligeramente más fresco, puede dedicar más tiempo a esa tarea que si las estaciones tuvieran la misma duración.

El resultado es que la situación del norte y el sur no es tan asimétrica como podría suponerse. O, al menos, una asimetría tiende a anular la otra asimetría.

La anulación no es completa. Los veranos septentrionales, ligeramente más frescos, estimulan un período glacial pese a su duración algo mayor.

Lo que nos deja todavía con la pregunta de por qué hay períodos glaciales en ciertos momentos y no en otros. Si la combinación de inclinación axial y órbitas elípticas basta para provocar una edad de hielo en el hemisferio septentrional, ¿por qué no lo produce? Si no basta para producir una edad de hielo, ¿por qué las hubo en el pasado?

Ah, pero aún no hemos terminado con las peculiaridades de la órbita terrestre. La órbita no se repite con exactitud a través de toda la eternidad. Tampoco el eje terrestre tiene la misma inclinación para toda la eternidad.

Tanto la órbita como la inclinación serían fijas si la Tierra y el Sol estuvieran solos en el Universo, pero no están solos. La Luna también está presente, y también los planetas, y aun las estrellas distantes. Cada uno de estos astros posee un campo gravitacional y cada uno de estos campos gravitacionales tiene la capacidad de influir en el movimiento de la Tierra.

Todos ellos son mucho más pequeños que el Sol, o están mucho más lejos que el Sol, o ambas cosas, de modo que ninguno puede competir con el abrumador efecto gravitacional del Sol sobre la Tierra. Pese a todas las fuerzas del Universo, pues, la Tierra continúa su majestuosa trayectoria alrededor del Sol, casi sin ser afectada por los otros objetos existentes.

Casi sin ser afectada. Pero sólo casi.

Las fuerzas ajenas a que la Tierra está sujeta producen cambios menores en la órbita terrestre (perturbaciones), todos ellos de tan escasa magnitud en períodos de tiempo ordinarios que no afectan los asuntos humanos en el espacio de una vida y no molestan a nadie salvo a los astrónomos.

Pero aun perturbaciones muy pequeñas pueden producir a la larga efectos desproporcionados con su magnitud, y hoy se piensa que el secreto de las edades de hielo reside en perturbaciones minúsculas.

Y esas perturbaciones serán el tema de nuestro capítulo 8.

8

OBLICUA LA ESFERA CENTRAL

Supongo que todos ustedes son lo bastante sofisticados para saber que estos artículos no fueron escritos el día antes de que este libro llegara a las librerías. Están escritos meses antes. Aunque ustedes lean este capítulo en mitad del verano, por ejemplo, y acaso estén sufriendo una ola de calor, fue escrito en mitad del invierno.

De hecho, poco después que escribí el capítulo 7, que trataba del nuevo material recientemente publicado respecto a los períodos glaciales, los dos tercios de la población del este de los Estados Unidos sufrieron lo que para sus temblorosos habitantes es toda una edad de hielo.

Aunque no sufro el frío (dentro de ciertos limites), hasta yo tuve que admitir que ya era demasiado la mañana del 7 de enero de 1977, cuando esperaba en una estación suburbana de Filadelfia el arribo del tren que me llevaría de regreso a Nueva York. Había llegado a las 6:05 para tomar el tren de las 6:40 (soy madrugador) y el tren llegó a las 7:30. La temperatura (en grados Fahrenheit) era bajo cero, y aunque esperé dentro de una sala razonablemente tibia con una veintena de personas, la *idea* del frío exterior nos tenía a todos a mal traer.

Al menos me pone en clima para continuar este comentario.

En el capítulo 7 señalé que la forma elíptica de la órbita terrestre y la inclinación del eje de la Tierra se combinan para producir inviernos templados y veranos frescos en el hemisferio septentrional e inviernos fríos y veranos calientes en el meridional. También expliqué que la situación de clima templado era la que propiciaba los períodos glaciales y que la pregunta era: ¿entonces por qué el hemisferio septentrional no sufre ahora un período glacial?

Bien, veamos.

La Tierra rota sobre su eje, y cualquier objeto que gira, como resultado de su inercia (la tendencia de cualquier punto de su superficie a desplazarse en línea recta antes que en círculo) experimenta un efecto centrífugo que tiende a alejar cada una de sus partes del centro de rotación.

Como la Tierra es una pelota que gira toda al mismo tiempo, diferentes partes de ella giran a diferentes velocidades. En el Polo Norte y el Polo Sur la superficie está ubicada sobre el mismo eje y el movimiento rotatorio no existe. Cuanto más se aleja uno de los polos más rápido es el movimiento de la superficie (y también del material bajo la superficie) hasta que llegamos al Ecuador, donde el movimiento es más acelerado: un punto de la superficie terrestre ubicado en el Ecuador tiene una velocidad de rotación de 27,83 kilómetros por minuto. El efecto centrífugo se incrementa, pues, desde cero en los polos hasta una velocidad máxima en el Ecuador. La Tierra se aleja del eje de rotación en una comba que se hace cada vez más pronunciada a medida que uno se aleja de cualquiera de los polos y se acerca al Ecuador. Esa comba se llama pues «comba ecuatorial» y tiene 22 kilómetros de alto en el Ecuador.

Si la Tierra fuera exactamente esférica, la atracción gravitacional de los otros cuerpos actuaría como si se ejerciera enteramente sobre el centro de la Tierra. A causa de la comba ecuatorial, la Tierra no es exactamente esférica y hay una tracción adicional sobre los centros gravitacionales de la comba (uno en cada lado de la Tierra) además de la atracción sobre el centro.

Si la Luna girara alrededor de la Tierra exactamente en el plano ecuatorial, esto no importaría. El centro gravitacional de la Tierra y de la comba ecuatorial, tanto del lado de la

Luna como del lado contrario a la Luna, estarían en línea recta, y la comba entonces no introduciría ninguna complicación.

La Luna, sin embargo, gira en un plano muy inclinado respecto del plano ecuatorial terrestre. Eso significa que la Luna ejerce atracción sobre los tres centros de gravedad en direcciones ligeramente diferentes y a distancias ligeramente diferentes.

El efecto es la «precesión»[30] de la Tierra. O sea, que sin tener en cuenta el cambio en las inclinaciones del eje, los Polos Norte y Sur describen cada cual un círculo relativo a la línea imaginaria que es perpendicular al plano orbital de la Tierra alrededor del Sol.

(Podemos presenciar esto cuando gira un trompo. Si está inclinado al rotar, la atracción terrestre lo hace vacilar de tal manera que la inclinación gira alrededor del punto sobre el que rota. Desde luego, la Tierra no está girando apoyada sobre un punto, de modo que ambos extremos del eje oscilan alrededor de un punto fijo en el centro del eje).

Si el eje de la Tierra se extiende imaginariamente hacia el cielo, el Polo Norte y el Polo Sur se insertan respectivamente en el Polo Norte Celeste y el Polo Sur Celeste. Podemos distinguir la ubicación de estos polos celestes porque el resto del cielo gira alrededor de ellos.

Si observamos año a año y década a década descubrimos que la posición de los Polos Norte y Sur celestes cambia lentamente, como resultado de la precesión del eje terrestre. En realidad, cada polo celeste traza un círculo de unos 47 grados de diámetro, completando una vuelta alrededor del círculo en 25.780 años.

¿Y qué le ocurre a la órbita terrestre como resultado de la precesión?

En el momento actual, el extremo polar norte del eje se inclina más hacia el Sol el 11 de junio, momento en que la Tierra está a la mayor distancia posible del Sol, razón por la cual los veranos septentrionales son más frescos y los inviernos meridionales más fríos. El extremo polar norte del eje está más alejado del Sol el 21 de diciembre, momento en que la Tierra está lo más cerca posible del Sol, razón por la cual los inviernos septentrionales son más templados y los veranos meridionales más calientes.

Pero (suponiendo que todo lo demás permanezca igual) en 12.890 años la precesión habrá alterado el eje de tal modo que se iniciará en la dirección opuesta. El 21 de junio, cuando la Tierra esté alejada del Sol, el extremo polar norte del eje estará inclinado hacia el lado contrario al Sol, y el 21 de diciembre, cuando la Tierra esté cerca del Sol, el extremo polar norte del eje estará inclinado hacia el Sol.

La situación será precisamente la opuesta a la actual. Será el hemisferio septentrional el que tenga inviernos fríos y veranos calientes y el hemisferio meridional el que tenga inviernos templados y veranos frescos. El hemisferio meridional, y no el septentrional, será el amenazado por una edad de hielo.

Por supuesto no podemos tener en cuenta sólo la precesión, pues el perihelio no permanece en el mismo lugar. Si la Tierra y el Sol estuvieran solos en el Universo la órbita terrestre sería una elipse cerrada, la Tierra repetiría exactamente su sendero alrededor del Sol por un período indefinido de tiempo y el perihelio sería fijo.

Pero la Tierra y el Sol no están solos y el resultado de fuerzas gravitacionales ajenas sobre la Tierra produce complicaciones.

Si se imagina que la Tierra empieza su órbita en el perihelio, no llega al mismo punto en el espacio (respecto del Sol) cuando regresa al perihelio. Si la Tierra, en su desplazamiento alrededor del Sol, dejara una marca, se vería que no describe una elipse cerrada sino una especie de complicada roseta, cada vez atravesando el espacio en una línea ligeramente diferente.

El efecto reticular de todo esto es que el perihelio se desplaza lentamente alrededor del Sol, de modo que la Tierra lo alcanza en un lugar y un momento ligeramente diferentes cada año. El perihelio completa una vuelta alrededor del Sol en unos 21.310 años. Cada cincuenta y ocho años, la fecha del perihelio cambia un día en nuestro calendario.

Por lo tanto el problema de cuál hemisferio tiene inviernos templados y veranos frescos y cuál tiene inviernos fríos y veranos calientes depende del efecto combinado de la precesión y el desplazamiento del perihelio.

En 1920 un físico yugoslavo, Milutin Milankovich, sugirió que había un gran ciclo climático como resultado de leves cambios periódicos relacionados con la órbita terrestre y su inclinación axial. Habló de un «Gran Invierno» durante el cual sobrevenía un período glacial, y

[30] La atracción del Sol también juega un papel, pero menor.

un «Gran Verano» que representaba los períodos interglaciales. En el medio habría, desde luego, una «Gran Primavera» y un «Gran Otoño».

Si consideráramos sólo el movimiento de precesión y el del perihelio, podríamos suponer que cuando el extremo norte del eje está más inclinado hacia el Sol en el perihelio, el hemisferio septentrional tendría su combinación verano-caliente-invierno-frío en su forma más extrema. Ese sería el solsticio del Gran Verano del hemisferio septentrional, el 21 de junio de la Gran Estación. En ese momento, por supuesto, el hemisferio meridional experimentaría la combinación verano-fresco-invierno-templado en su forma más extrema, y ése sería para él el solsticio del Gran Invierno, el 21 de diciembre de la Gran Estación.

Cuando el eje se inclina en la dirección opuesta, en el perihelio, sería el solsticio del Gran Invierno para el hemisferio septentrional y el del Gran Verano para el meridional.

Actualmente estamos muy cerca del solsticio del Gran Invierno en el hemisferio septentrional. ¿Entonces por qué no hay una edad de hielo?

En principio, quizá porque hay un retraso natural.

El 21 de diciembre del año común puede ser el solsticio de invierno y el momento del día más corto y la noche más larga del año, pero es improbable que sea el día más frío del año. En realidad, es sólo el comienzo del invierno.

Después del solsticio de invierno los días se alargan y las noches se acortan, pero durante mucho tiempo los días siguen siendo más cortos que las noches, de modo que hay un continuo déficit de calor, y se pierde más de noche de lo que se gana durante el día gracias al Sol. En consecuencia, la temperatura media sigue descendiendo durante enero y la primera quincena de febrero, que es pleno invierno (Del mismo modo, la temperatura media continúa ascendiendo después del solsticio de verano, el 21 de junio, durante julio y la primera quincena de agosto).

Del mismo modo, las Grandes Estaciones pueden retardarse mientras el efecto se acumula después del solsticio. Si alguien dijera en diciembre: «¿Dónde está la nieve?», la respuesta sería «¡Espere!». Lo mismo podría ocurrir ahora.

Si sólo se tratara del movimiento de precesión y el del perihelio, las edades de hielo alternarían en ambos hemisferios. La plenitud de una edad de hielo en el hemisferio septentrional sobrevendría en medio de un período interglacial del hemisferio meridional y viceversa. Sin embargo, hay evidencias de que las edades de hielo sobrevienen simultáneamente en ambos hemisferios.

Puede haber otros efectos, pues, que operan en ambos hemisferios, y tal vez estos otros efectos predominen sobre el antedicho movimiento.

Por ejemplo, un efecto de las diversas fuerzas gravitacionales sufridas por la Tierra es que la inclinación axial varía no sólo en forma precesional sino en paulatino aumento.

Actualmente la inclinación axial es de 23,44229 grados respecto del plano orbital, pero no es inmutable. Está decreciendo. En 1900 era de 23,45229 grados y en el 2000 será de 23,43928 grados.

Si esta disminución continuara parejamente a través de los siglos, en 137.000 años el eje estaría derecho y desaparecerían las estaciones. Desde luego, eso no ocurrirá. La presente disminución de la inclinación axial es parte de un ciclo: alcanzará un mínimo que no será muy inferior al valor actual —unos 22 grados— y luego aumentará hasta llegar a un máximo no muy superior al valor actual —unos 24,5 grados—, y luego esto se repetirá indefinidamente una y otra vez. La duración del ciclo es de 41.000 años.

¿Cómo afecta esto al clima de la Tierra? No como parece pensar la mayoría de la gente.

Todos sabemos que tenemos verano e invierno a causa de la inclinación axial. Si no hubiera inclinación axial, no habría días y noches de igual duración en todo el mundo. La situación sería permanentemente la que existe ahora en los equinoccios.

Parece natural, pues, tener la idea de que si el eje de la Tierra no estuviera inclinado habría una primavera eterna en todo el planeta.

Esta idea está expresada en el **«Paraíso perdido»** de John Milton (quien sobresalía como poeta pero era flojo en astronomía). Milton suponía que antes de la Caída, cuando el hombre vivía todavía en el Edén, no había inclinación axial y en todas partes reinaba una primavera eterna. La inclinación sobrevino después de la Caída.

Milton, que quería aferrarse a la teoría ptolomeica pero admitía a regañadientes que en la época en que escribía casi todos los astrónomos eran copernicanos, no estaba seguro de si afirmar que la inclinación había sido provocada ladeando la Tierra o ladeando el Sol, de modo que expuso ambas posibilidades. En el Libro X de su poema, escribe:

Algunos dicen que Dios ordenó a sus Ángeles que inclinasen
los Polos de la Tierra dos veces diez grados y más
sobre el eje del Sol; trabajosamente pusieron
oblicua la esfera central; algunos dicen que se ordenó
al Sol que volviera las riendas de la senda equinoccial
en un espesor de esa misma medida...

Milton se equivocaba al considerar la inclinación (impuesta ya copernicana o ptolomeicamente) como un castigo.

Supongamos que el eje estuviera menos inclinado que ahora. En ese caso, la disparidad de duración del día y la noche en las regiones de los solsticios sería menor. El verano no sería tan caliente ni los inviernos tan crudos. Habría invierno-templado-verano-fresco para ambos hemisferios. Cuanto menos inclinado estuviera el eje, más templado sería el invierno y más fresco el verano en ambos hemisferios.

Sin embargo, como expliqué en el capítulo 7, un invierno templado tiende a producir más nieve y un verano fresco a derretir menos nieve. Un eje menos inclinado estimularía una edad de hielo en ambos hemisferios, por lo tanto, y si el eje no estuviera inclinado la edad de hielo sería permanente en el norte y en el sur.

De modo que inclinar el eje fue una medida generosa que descongeló el mundo.

En realidad, uno podría presentarlo de este modo. Mientras Adán y Eva estaban en el Jardín, que podríamos imaginar en un clima tropical, un año sin estaciones era benéfico. Después de la Caída, cuando los seres humanos iban a multiplicarse y propagarse por todo el mundo, las zonas templadas tendrían que ser habitables para ellos y se impuso la inclinación. Si Milton hubiera podido presentar ésta explicación habría ilustrado el amor y generosidad de Dios en vez de su venganza, o sea que probablemente no habría mencionado en absoluto la inclinación, pues según mi experiencia los beatos se interesan más en la venganza.

De todos modos, lo cierto es que la inclinación axial actualmente está disminuyendo y eso favorece la llegada de una edad de hielo en ambos hemisferios.

Aún no hemos terminado.

En el momento en que escribo, la excentricidad de la elipse orbital de la Tierra es de 0,01675 y la diferencia en la distancia respecto del Sol en el perihelio y en el afelio es de 5.002.000 kilómetros, o sea un 3,3 por ciento de la distancia promedio.

Esa excentricidad también se altera en un ciclo de 92.400 años. La excentricidad puede disminuir hasta 0,0033, o sea 1/5 de la cifra actual, y luego aumentar hasta un máximo de 0,0211, o sea 1¼ de la cifra actual.

En el máximo de excentricidad el Sol está 6.310.000 kilómetros más cerca en el perihelio que en el afelio. En el mínimo de excentricidad, el Sol está 990.000 kilómetros más cerca en el perihelio que en el afelio.

Cuanto menor sea la excentricidad y más circular la órbita, más pequeña será la diferencia en la cantidad de calor que la Tierra reciba del Sol en diferentes épocas del año. Esto disminuye las posibilidades de invierno-frío-verano-caliente y estimula la situación invierno-templado-verano-fresco.

En otras palabras, un período de excentricidad declinante es un período que propicia la llegada de edades de hielo, y sucede que en este momento la excentricidad orbital de la Tierra está declinando. La excentricidad está disminuyendo a un promedio de 0,0004 por siglo. En otras palabras, cada año la Tierra, en el perihelio, está 1,2 kilómetros más lejos del Sol que en el perihelio anterior.

Todos estos cambios orbitales y axiales son pequeños y es raro que puedan producir los enormes cambios que producen en los casquetes de hielo. La razón es que el avance y retroceso de los hielos implica un círculo vicioso (si uno reprueba los cambios) o benéfico (si uno los aprueba).

Supongamos que la oscilación orbital y axial de la Tierra produzca un cambio climático que aliente una leve expansión de los casquetes de hielo. Sucede que el hielo refleja la luz con mayor eficacia que el agua líquida o el suelo desnudo. El hecho de que haya más hielo, pues, significa que en general la Tierra refleja más calor que antes y absorbe menos. Eso disminuye la temperatura media de la Tierra y alienta la formación de más hielo, lo cual disminuye aun más la temperatura, estimula a su vez la producción de hielo, etcétera.

En definitiva, una pequeña expansión del casquete de hielo puede producir vastas planicies heladas y la congelación de medio planeta.

En medio de una edad de hielo las cosas son diferentes. Si las variaciones orbitales y axiales producen un pequeño retroceso en la frontera de la capa de hielo, se refleja menos luz solar, hay una pequeña elevación en la temperatura media de la Tierra que estimula aun más el retroceso del hielo, se eleva aun más la temperatura, etcétera.

Finalmente, un pequeño retroceso de la capa de hielo puede producir el derretimiento del casquete y devolver a la Tierra un clima templado.

Parecería, pues, que si se desarrollara un método para medir la temperatura de la Tierra con todas sus minúsculas variaciones se podría descubrir un diseño complicado pero regular que demostraría estar compuesto con las diversas oscilaciones cíclicas de la órbita y el eje. En tal caso, habría una evidencia importante de que esas oscilaciones ejercieron efectos relevantes en la temperatura de la Tierra, efectos que sólo pudieron traducirse en edades de hielo.

El problema fue considerado por J. D. Hays (*Universidad de Columbia*), John Imbrie (*Universidad de Brown*) y N. J. Shackleton (*Universidad de Cambridge*), y sus resultados fueron publicados en diciembre de 1976.

Trabajaron con largas capas de sedimento escogidas de dos lugares diferentes del Océano Índico. Los lugares estaban lejos de zonas costeras, de modo que ningún material acarreado desde tierra distorsionara el análisis. Los lugares eran poco profundos, de modo que no hubiera material acarreado desde zonas circundantes menos profundas. Podía suponerse que el sedimento era material sin mezcla depositado en ese lugar siglo tras siglo, y la antigüedad de la capa producida parecía remontarse a un período de 450.000 años. La esperanza consistía en que hubiera cambios en las capas tan fáciles de distinguir y de interpretar como los anillos de los árboles.

Pero eso significaba que tenía que haber algo en los sedimentos que cumpliera la tarea de los anillos de los árboles. Por el ancho de los anillos de los árboles podían distinguirse los veranos húmedos de los secos. ¿Qué había en el sedimento para distinguir los períodos cálidos de los fríos? ¿Qué podía funcionar como termómetro?

En realidad había dos termómetros muy diferentes e independientes, de modo qué si ambos concordaban el resultado era significativo.

El primero se relacionaba con los diminutos radiolarios, que vivieron en el océano durante el medio millón de años que se investigaba. Se trata de protozoos unicelulares con esqueletos diminutos y complejos que, después de la muerte de las criaturas, descienden al fondo del océano como una especie de limo silíceo.

Hay muchas especies de radiolarios, y algunos prosperan en condiciones más cálidas que otras. Son fáciles de diferenciar por la naturaleza de los esqueletos y por lo tanto se pueden sondear las capas de sedimentos, milímetro por milímetro, estudiando la naturaleza de los esqueletos de radiolarios y estimando si en un momento dado el agua del océano era tibia o fría. De este modo se podía trazar una curva de temperatura real en el tiempo.

El segundo termómetro se relacionaba no con seres vivientes sino con átomos. El oxígeno se compone ante todo de átomos de oxígeno-16, pero un átomo de oxígeno de cada quinientos es oxígeno-18 (También hay unos pocos átomos de oxígeno-17, pero su presencia no afecta el siguiente argumento).

Los átomos de oxígeno-18 son un 12,5 por ciento más masivos que los átomos de oxígeno-16. Una molécula de agua que contiene oxígeno-18 tiene un peso molecular de 20, mientras que una molécula de agua que contiene oxígeno-16 tiene un peso molecular de 18 una diferencia de peso del 11,1 por ciento.

Cuando el calor del Sol evapora agua del océano, las moléculas de agua que contienen oxígeno-16, siendo más livianas, se evaporan un poco más rápido que las que contienen oxígeno-18. En cualquier momento dado, el vapor de agua de la atmósfera y la lluvia en que se condensa son más ricos en oxígeno-16 y más pobres en oxígeno-18 que el agua del océano.

Esta disparidad no suele ser muy grande. El vapor de agua se condensa en lluvia y cae de nuevo en el océano, o se precipita en tierra y pronto regresa al océano.

Pero en el curso de una edad de hielo buena parte del vapor de agua se transforma en nieve que se acumula en los crecientes casquetes polares y se queda allí, sin regresar a los océanos durante decenas de miles de años.

Los casquetes de hielo representan un vasto depósito que contiene moléculas de agua ricas en oxígeno-16 y pobres en oxígeno-18. Cuanto más voluminosa sea la masa de hielo de la Tierra mayor será la cantidad de oxígeno-16 extraída preferencialmente y más alto el porcentaje de oxígeno-18 en el océano líquido y en cualquier molécula que incorpore el oxígeno de esa agua.

Por lo tanto se puede investigar la capa sedimentaria milímetro por milímetro y determinar la cantidad de oxígeno-18: una proporción del oxígeno-16. Cuanto más alta la proporción, más avanzada la edad de hielo y más baja la temperatura terrestre.

Ambos termómetros proporcionaron resultados casi idénticos en ambas capas. Más aun, las curvas de temperatura obtenidas por este procedimiento revelaban ciclos simples que se asemejaban estrechamente a los que cabría inferir según las variaciones orbitales y axiales conocidas.

Parece haber buenas razones para pensar, pues, que en verdad son las variaciones orbitales y axiales la causa de los períodos glaciales, y que la curva obtenida puede ser empleada para predecir el futuro en este aspecto.

En este momento aparentemente acabamos de pasar uno de los picos pronunciados de la curva, que tiene intervalos de 100.000 años y representa condiciones templadas interglaciales, y nos dirigimos hacia una nueva edad de hielo.

Eso no significa el año que viene, desde luego (aunque quienes vivimos el frígido enero de 1977 podríamos ser disculpados por abrigar dudas pesimistas), o siquiera el milenio que viene. No obstante, por muy alejada en el futuro que esté la próxima edad de hielo, hay motivos para preocuparse ahora mismo.

Mucho antes de que las condiciones de enfriamiento sean lo bastante severas para que los glaciares avancen hacia el sur, lo serán tanto como para acortar la estación de la siembra y aumentar la incidencia de heladas fatales a principios y finales de la temporada en los bordes septentrionales y altitudinales de una determinada región agrícola. Las buenas cosechas serán menos abundantes, y esto, combinado con el incremento de la población (si continúa incrementándose), volverá más inminente el peligro de hambruna general.

¿Podemos hacer algo Para evitarlo? Tal vez sí. Los científicos que investigan las capas declaran específicamente que la curva de temperatura no tiene en cuenta efectos «antropogénicos»[31].

La humanidad está haciendo cosas que no se hicieron nunca en el curso del período de 450.000 años sobre el que se elaboró la curva. La humanidad ha quemado combustibles fósiles a un ritmo que ha crecido rápidamente, y ha arrojado dióxido de carbono a la atmósfera en cantidades sin precedentes. Esto no servirá para alterar demasiado el porcentaje natural de dióxido de carbono que hay en el aire, pero podría bastar para agudizar el efecto de invernáculo[32], lo suficiente para abortar una edad de hielo. Luego, cuando los combustibles fósiles estén agotados y la humanidad acuda a otras fuentes energéticas, como la fusión nuclear y las plantas de energía solar en el espacio, el calor producido de esta manera y añadido al que naturalmente recibimos del Sol puede contribuir aun más a abortar las edades de hielo. Y de hecho ponernos en peligro de un recalentamiento que terminaría por derretir las capas de hielo que aún quedan en Groenlandia y la Antártida y provocaría inundaciones catastróficas en las zonas continentales.

---

[31] No se dejen desorientar por la palabra. Es simplemente una forma griega de decir «provocado por el hombre», y los científicos la emplean sólo para irritar a los tipógrafos.

[32] Véase *«No More Ice Ages?»*, en **«Fact and Fancy»** (Doubleday, 1962) y *«El gran cambio climático»*, en **«El principio y el fin»** (Sudamericana, 1979).

Sin embargo, aún queda algo por explicar.

Si en verdad los cambios orbitales y axiales son la causa de las edades de hielo, éstas habrían sobrevenido periódicamente en la historia de la Tierra. En cambio, parecen haber acaecido sólo durante el último millón de años. Por lo tanto hubo unos 250.000.000 de años sin edades de hielo de consideración.

En segundo lugar, la curva de temperatura parecería mostrar que las dos regiones polares son igualmente afectadas, pero es el hemisferio septentrional el que ha sufrido casi exclusivamente edades de hielo.

Hay alguna fuente de asimetría tanto en el espacio como en el tiempo, y no puede residir en los cambios orbitales y axiales, de modo que tiene que estar en otra parte. Y ése será el tema del capítulo 9.

9

LOS POLOS OPUESTOS

Sucede que soy un individuo bastante accesible. No es nada difícil rastrear mi domicilio o mi número de teléfono. No los oculto a nadie. No tengo ningún deseo de apartarme o esconderme.

Sin embargo, esto crea alarmas y desaliento en los corazones de mis seres queridos, pues me imaginan muerto de aburrimiento por toda clase de individuos bien intencionados (o excéntricos).

Como respuesta, explico que tengo fe en mis Amables Lectores. Son en general, a juzgar por los que he visto y oído mencionar, gentes inteligentes y consideradas que no abusan de mi actitud abierta. Mi buzón generalmente está lleno; mi teléfono suena a menudo; pero tanto las cartas como las llamadas suelen ser razonables, no demasiado largas y sin preguntas excesivas.

Claro que de vez en cuando...

No hace mucho tiempo el teléfono sonó a las 3.30 de la mañana. Más aun, el que sonó no fue el teléfono que esta en mi dormitorio, sino otro que está a varias habitaciones de distancia. A esa hora de la noche y en ese teléfono, esperaba un desastre. Presumí que era uno de mis hijos y pensé que era una emergencia gravísima.

Por suerte, tengo el sueño liviano y me desperté enseguida, y mis pies descalzos, plaf plaf plaf, me llevaron al teléfono...

—Hola —dije, atemorizado y sin aliento.

—¿Doctor Asimov? —dijo la voz ávida de un desconocido.

—Sí. ¿Quién es?

—Quiero hablar con usted, doctor Asimov —dijo con la misma avidez—, y preguntarle...

—Espere un segundo. ¿Sabe que son las tres y media de la mañana?

Hubo una ligera pausa, como si el desconocido se detuviera a considerar por qué yo le recordaba un hecho tan irrelevante.

—Sí, desde luego —respondió.

—¿Por qué me llama a las tres y media de la mañana? —pregunté.

—Soy noctámbulo —dijo, como sorprendido de que yo no lo supiera.

—Y yo no —le respondí con el mismo tono de voz, y colgué. Fue una descortesía, pero me pareció más que justificada.

Que algunas personas son noctámbulas y otras no, es una perogrullada, y me dolió bastante pensar que entre mis lectores hay un joven tan idiota que no se da cuenta de que este par de opuestos existe y presume que sus propias características personales son la norma del mundo entero.

Pero para un escritor todo puede ser útil. Cavilando sobre los opuestos antes de conciliar de nuevo el sueño, descubrí la estrategia para abordar este capítulo.

En los dos capítulos precedentes comenté los cambios astronómicos, breves y periódicos, que podrían ser la causa de las periódicas edades de hielo de la Tierra. Sin embargo, las alteraciones de los movimientos terrestres se han producido durante incontables millones de años, presumiblemente, mientras que las edades de hielo periódicas han sobrevenido sólo en los últimos millones de años de la Tierra. Antes, hubo unos 250.000.000 de años sin edades de hielo, por lo que aproximadamente podemos determinar.

En alguna parte hay una asimetría, y si nos detenemos a observar podemos encontrarla en la superficie de la Tierra. Allí encontramos (*¡ajá!*) opuestos. Estos opuestos son, desde luego, la

tierra y el mar: sólido y líquido, fijo y fluido. Y esos opuestos no están distribuidos simétricamente. Podemos empezar suponiendo que la superficie terrestre es simétrica respecto de estos opuestos.

Supongamos, por ejemplo, que la superficie sólida de la Tierra se restringiera a la zona tropical. Tendríamos una franja de tierra (posiblemente interrumpida por estrechos brazos de mar) alrededor del medio de la Tierra y un océano vasto e ininterrumpido que abarcaría las zonas templadas y frígidas en ambos lados de la Tierra, al norte y al sur. La Tierra tendría así dos océanos polares, y la distribución de tierra y mar sería simétrica.

Cada polo estaría congelado. El agua de mar se congela a una temperatura de –2 grados centígrados (29 grados Fahrenheit) y las condiciones de los polos producirán temperaturas aún más bajas en invierno.

Una capa helada cubriría todas esas extensiones oceánicas, pues, y tal vez abarcaría una superficie de no menos de 13.000.000 de kilómetros cuadrados en su período de extensión máxima, en pleno invierno. Esto equivale a 1,5 veces la superficie de Estados Unidos. En verano, buena parte de la capa de hielo se derretirá y sólo quedará cubierta una superficie de tal vez 10.000.000 de kilómetros cuadrados.

Los dos polos alternarán en este aspecto. Cuando el Polo Norte tuviera su extensión máxima de hielo sólido, el hielo del Polo Sur tendría una mínima y viceversa.

En cualquier momento dado, una Tierra con océanos polares tendría unos 23.000.000 de kilómetros cuadrados cubiertos de hielo. Esto equivale a un 4,5 por ciento de la superficie terrestre.

Este hielo marino, sin embargo, no sería muy grueso. El hielo es un buen aislante y una vez que se ha formado el agua debajo de la capa tarda en perder el calor y por lo tanto se congela muy lentamente. Cuanto más gruesa sea la capa de hielo, el agua de abajo se congelará con mayor lentitud.

El proceso de congelamiento es aun más lento porque el océano es un fluido y está dividido en corrientes que tienden a nivelar la temperatura. El calor entra en el océano polar desde los trópicos más cálidos y esto también limita el congelamiento bajo la capa polar.

Por cierto, la nieve cae encima de la capa helada y esto aumenta el grosor, pero de ese modo la capa se sumerge más en el agua y una parte se derrite.

Después de un invierno de duración e intensidad ordinarias el hielo marino puede terminar con un grosor medio de no más de 1,5 metros como máximo en medio del invierno. El volumen total de hielo en una Tierra con dos océanos polares sería así de unos 34.500 kilómetros cúbicos. Esto equivale a 1/35.000 de la cantidad de agua de la Tierra, una cifra insignificante.

¿Qué ocurre en tal caso si los pequeños cambios astronómicos que describí en los capítulos anteriores producen un cambio en el clima de la Tierra?

Si la temperatura estival disminuye un poco, se derrite un poco menos de hielo, de modo que queda un poco más. Esto aceleraría nuevos cambios, pues más hielo sirve para irradiar más luz solar al espacio, enfriando un poco más los veranos y estimulando aun más la formación de hielos.

Esto, sin embargo, no iría muy lejos. La circulación del océano se encarga de que haya una filtración de calor desde los trópicos. Cuanto más se extiende el hielo hacia el Ecuador, más eficaz es la filtración, de modo que se establece un nuevo equilibrio que no es radicalmente diferente del que había antes.

En consecuencia, la lenta alternancia de edades de hielo y períodos más templados vería sucesivas expansiones y contracciones del hielo polar. Podríamos suponer que en medio de una edad de hielo la delgada capa de hielo polar se extendería unos dos millones de kilómetros más allá de los límites interglaciales, y los efectos no serían serios.

Incluso podría argumentarse que esos efectos serían beneficiosos para la vida. La vida marina depende en parte de la cantidad de oxígeno disuelta en el agua de mar, y esa cantidad aumenta a medida que disminuye la temperatura del agua. El agua fría de las regiones polares contiene un 60 por ciento más de oxígeno que el agua cálida de los trópicos (Por esta razón la vida marina es particularmente rica en los océanos polares y los grandes bancos de peces del mundo existen en las corrientes de agua fría).

En un planeta con océanos polares, la vida marina se propagaría y prosperaría durante una edad de hielo, y la vida terrestre de los continentes tropicales indirectamente se beneficiaría también.

Otro punto de interés: el hielo marino, presente o ausente, en expansión o en retroceso, no afectaría el nivel del mar. Cuando el agua se congela formando hielo, que es algo menos denso, se expande. El agua congelada, sin embargo, flota en el hielo, con sólo una parte sumergida. La parte sumergida es exactamente igual en volumen a la del agua que se ha congelado.

Esto significa que la vida terrestre de los continentes tropicales no sería afectada por el hecho de que al norte y al sur el hielo marino se expanda y contraiga, al menos en cuanto concierne al mar mismo. Las aguas no se retirarían de las playas con los años, ni las inundarían.

Ahora pasemos a otra especie de condición simétrica. Dejemos la mayor parte de los continentes en los trópicos, como antes, pero traslademos parte de las tierras a los polos. Imaginaremos una Tierra con dos continentes polares, cada cual rodeado por un gran océano ininterrumpido.

Para ser específicos supongamos que cada polo está ocupado por un continente más o menos circular, con el polo más o menos en el centro, y que la superficie de este continente es de 13.100.000 kilómetros cuadrados.

¿Cuál sería ahora la situación?

Por empezar, podemos suponer que los continentes están desnudos; las superficies son simplemente de roca. En el invierno polar la temperatura de la superficie desnuda bajaría. Bajaría más rápido que la temperatura del agua en circunstancias similares porque el «calor específico» de la roca es más bajo que el del agua. Una cantidad de pérdida de calor que redujera la temperatura de un volumen de agua particular en 1 grado, reduciría la temperatura de un volumen similar de roca en 5 grados.

Además, la temperatura del agua sólo puede descender al punto de congelación, y el agua luego se congela. El agua bajo el hielo permanecerá en ese punto de congelación y servirá como fuente de calor que impedirá que el hielo de arriba se enfríe tanto como podría hacerlo en caso contrario.

La tierra seca de los continentes polares, en cambio, se enfriará tanto como lo imponga la pérdida de calor, y como la tierra no fluye no hay corrientes terrestres que traigan calor desde fuera. Por lo tanto, la temperatura podría descender, en las zonas interiores y en pleno invierno, hasta menos de 100 grados centígrados bajo cero (–148 grados Fahrenheit).

En el verano polar, cuando el Sol puede estar bajo en el cielo pero brilla durante largos períodos de tiempo (hasta seis meses consecutivos en los polos), la tierra expuesta sufriría un aumento de temperatura hasta llegar a niveles casi templados, pero la Tierra no permanece expuesta.

El océano circundante es fuente del vapor de agua del aire y éste puede condensarse y precipitarse (en condiciones térmicas polares) como nieve. Durante el invierno polar, la nieve caerá en el continente polar. No caerá demasiada porque el aire estará demasiado frío para contener demasiado vapor, pero algo caerá y el continente tendrá una capa de nieve.

Esto significa que en el verano polar el calor del Sol no sólo no se dedicará a levantar la temperatura sino a derretir el hielo. Se necesita tanto calor para derretir un determinado peso de hielo como para elevar la temperatura de ese peso en agua, en 80 grados Celsio (144 grados Fahrenheit).

Esto significa que el continente polar permanece frío durante el verano y en realidad que el Sol, que cuelga bajo en el cielo, no logrará derretir toda la nieve que cayó el invierno anterior.

En el invierno siguiente la capa de hielo es por lo tanto más gruesa, pues más nieve se ha añadido a la que quedó en el invierno anterior; y será aun más gruesa el próximo invierno. Finalmente habrá una costra de hielo mucho más gruesa en la tierra que en un mar en las mismas condiciones.

Eventualmente, la capa de hielo alcanzaría unos 2 kilómetros de espesor medio, con un grosor máximo de unos 4,3 kilómetros en el interior, tal vez. Se extendería sobre una superficie de casi 15.000.000 de kilómetros cuadrados, superficie que incluiría el continente entero y parte de las caletas y bahías de escasa profundidad a lo largo de las costas.

La cantidad total de hielo ascendería a 30.000.000 de kilómetros cúbicos en cada continente polar, o sea 60.000.000 de kilómetros cúbicos en total, y muy poca cantidad se derretiría en el verano.

El hielo formado en continentes polares sería casi 1.750 veces tan grande en cantidad como el formado en océanos polares. El hielo continental de los polos equivaldría a un 4,8 por ciento de toda el agua de la Tierra.

¿El hielo se apilaría en los continentes polares hasta que el océano entero se acumulara sobre ellos en una pila precaria de más de 40 kilómetros de alto?

No. El hielo es plástico bajo presión, y cuando se han apilado unos cuantos kilómetros tiende a extenderse como cera sólida. Algunos fragmentos (témpanos) se desgajan del borde de la capa de hielo y vagan a la deriva en el océano circundante, entre los hielos formados en el mar. Esta pérdida eventualmente compensa lo ganado a través de las neviscas, de modo que el volumen y grosor de la lámina de hielo alcanza un equilibrio.

Los témpanos son agua dulce escarchada, mientras que el hielo marino atrapa la salmuera entre los cristales congelados y por lo tanto es muy salado; el hielo de agua dulce se derrite con menos facilidad que el hielo salado. Además, los témpanos son mucho más gruesos que el hielo marino y por lo tanto tardan más en derretirse.

(No obstante, los témpanos bogan hacia el Ecuador y finalmente se derriten).

En pocas palabras, el hielo que circunda un continente polar forma, junto con el hielo del continente, un depósito de frío (o un aislante térmico más eficaz, si prefieren verlo desde la otra dirección) que un océano polar.

Por lo tanto, un planeta con un par de continentes polares terminaría siendo mucho más helado y más frío que el mismo planeta con océanos polares, aunque todas las condiciones astronómicas fueran análogas en ambos casos.

¿Cómo serían las edades de hielo en un planeta con dos continentes polares y el resto de la tierra en los trópicos? El cambio tampoco sería excesivo. Los continentes polares no podrían estar mucho más sepultados aun si los veranos fueran un poco más frescos, pero la acumulación de hielo aceleraría el achatamiento y estimularía la formación de témpanos. Por lo tanto el mar alrededor del océano polar tendería a helarse más, aunque también hasta cierto límite a causa de la circulación de agua desde los trópicos todavía cálidos.

Algo más. El hielo apilado en un continente polar está alejado del mar, de manera que afecta el nivel del mar. Si por alguna razón el hielo de los dos continentes polares se derritiera por completo, el agua se escurriría de los continentes al mar y el nivel del mar se elevaría unos 125 metros. Esto implicaría un problema serio para la vida terrestre.

Sin embargo, ese derretimiento total sería improbable. Las variaciones del clima planetario entre la edad de hielo y las condiciones templadas intermedias, en un planeta en la actual situación astronómica de la Tierra, no serían lo bastante grandes para afectar seriamente el casquete de hielo del continente polar.

Así, la Tierra no sería muy afectada por las edades de hielo si tuviera o bien dos océanos polares o bien dos continentes polares, siempre que hubiera una franja de tierra en los trópicos.

Podría haber una situación intermedia. Podría existir un continente en un polo y un océano polar en el otro, y el resto de las zonas continentales en los trópicos. De esta manera se podría tener dos polos opuestos, opuestos no sólo por la ubicación geográfica sino por el carácter físico.

Tampoco en ese caso las edades de hielo afectarían demasiado a la Tierra, pero la asimetría polar podría producir una gran diferencia entre los hemisferios septentrional y meridional, pues sólo un polo serviría como depósito de aguas frías en la Tierra. Sería interesante estudiar el flujo unilateral de las corrientes oceánicas y atmosféricas en un caso semejante.

Este caso de asimetría polar no sólo sería posible, sino que hasta cierto punto es así en la Tierra. El Polo Sur de la Tierra está ocupado por un continente casi circular, la Antártida, con el Polo Sur casi en el centro. En verdad, todas mis cifras para el casquete de hielo de un continente polar se basan en la situación real de la Antártida, cuyos hielos contienen el 2 por ciento de la provisión de agua de la Tierra (Si el casquete antártico alguna vez se derritiera, elevaría el nivel del agua en unos 60 metros).

El Polo Norte de la Tierra, sin embargo, es oceánico y está ocupado por un brazo casi circular del océano, el Océano Ártico, que es casi tan vasto como la Antártida y está cubierto

por hielo marino. En realidad, todas mis cifras para el hielo marino de un océano polar se basan en la situación real del Océano Ártico.

(La naturaleza opuesta de los polos terrestres está algo atenuada por el hecho de que hay una Antártida en miniatura en el norte, también. La gran isla de Groenlandia también tiene un vasto casquete de hielo sólo superado en tamaño por el de la Antártida, pero con sólo un décimo de la masa del casquete polar antártico).

En tal caso, el refrigerador de la Tierra está en la región polar sur antes que en la región polar norte; y la disparidad sería mayor si no fuera por Groenlandia. Son las aguas frías del océano antártico las que tienden a fertilizar todo el resto del mundo. Las frías aguas antárticas son ricas en oxígeno, y siendo frías y pesadas se desplazan hacia el norte por el fondo del océano, aireándolo. Cuando estas aguas frías emergen por alguna razón, también acarrean minerales, de modo que donde esto ocurre, el océano bulle de vida. Sin las aguas antárticas, el océano de la Tierra tendría apenas una cantidad comparativamente limitada de vida, y la superficie continental de la Tierra también se empobrecería en ese sentido.

El efecto del refrigerador antártico en la mitad meridional del planeta es enorme. Hay una isla del Océano Índico llamada Kerguelen, por el nombre del descubridor, o bien Isla de la Desolación, por sus características. Es una isla semipolar, frígida y tempestuosa, con campos de nieve y glaciales. Está a los 49 grados de latitud sur. A los 49 grados de latitud norte, por comparación, tenemos las ciudades de París, Francia y Vancouver, Canadá.

He explicado que haya un océano polar o un continente polar los pequeños descensos y elevaciones de la temperatura estival debidos a la situación astronómica de la Tierra no producen excesivas alteraciones, apenas una pequeña expansión y contracción del hielo marino en el caso de los océanos polares, y de los campos de témpanos en el caso de los continentes polares.

Pero recordemos que esto se basaba en la presunción de que la superficie continental de la Tierra estaba en los trópicos, lejos de ambos polos, y en realidad no es así. La superficie continental está distribuida asimétricamente, y ésa, después de la naturaleza de los polos, es la segunda asimetría importante en la superficie de la Tierra.

Sucede que la superficie continental de la Tierra está distribuida disparejamente en favor del hemisferio septentrional. Esto significa que no hay mucha tierra cerca del Polo Sur (salvo la Antártida, desde luego). En realidad, la única zona continental al sur de los 40 grados de latitud sur es la Patagonia, en el extremo meridional de Sudamérica, una tierra frígida y poco atractiva.

En consecuencia, el hemisferio meridional es prácticamente inmune a los efectos de las edades de hielo o los períodos templados intermedios. El casquete polar antártico se ha conservado prácticamente igual desde hace por lo menos 20.000.000 de años, con apenas una ligera expansión o contracción de los campos de témpanos.

El Océano Polar del Polo Norte, en cambio, no encaja en absoluto en mis presunciones iniciales. No es un océano abierto sin tierra a la vista en miles de kilómetros. En realidad, el Océano Ártico está casi encerrado, y el único pasaje importante que lo comunica con el resto del océano es una franja ancha de agua de 1.600 kilómetros, entre Groenlandia y Escandinavia, y aun ésta está parcialmente bloqueada por la isla de Islandia.

Más aun, la tierra que rodea el Océano Ártico no es una superficie desdeñable. Al norte de los 40 grados de latitud norte no sólo está Groenlandia y varias islas de gran tamaño, sino casi toda Europa y dos tercios de Norteamérica y Asia.

Estas tierras septentrionales hacen toda la diferencia. Mientras la nieve que cae durante el invierno meridional cae casi toda sobre el hielo de la Antártida o en aguas oceánicas, la nieve que cae durante el invierno septentrional se precipita sobre vastas zonas continentales de Norteamérica, Asia y Europa.

Las superficies continentales donde cae la nieve se enfrían y conservan la capa de nieve a través del invierno. Esto significa que hay una capa de nieve sobre millones de kilómetros cuadrados que estaban desnudos en verano.

El verano siguiente esa superficie vuelve a quedar libre, pues está más alejada de los polos que la Antártida y Groenlandia y el calor solar es suficiente para derretir totalmente esa delgada capa de nieve.

Pero supongamos que los cambios astronómicos comentados en los capítulos anteriores produjeran veranos ligeramente más frescos en el hemisferio septentrional, de modo que cada verano se derritiera un poco menos de nieve. Entonces tenderían a quedar restos de nieve durante el verano en lugares como el norte de Siberia, el norte de Escandinavia y el nordeste de Canadá, lugares donde anteriormente los veranos más cálidos la derretían.

Eso aceleraría la edad de hielo al aumentar la reflexión de la superficie terrestre, provocando así veranos más frescos, reduciendo aun más el derretimiento, y asegurando que capas más extensas de nieve cubran los territorios del norte durante el año, lo cual aumentaría más la reflectividad de la Tierra, etcétera.

Esta aceleración funcionaría perfectamente, al contrario de lo que sucedería en un océano polar abierto o en el mar que rodea un continente polar, pues en tierra la acción no está frustrada por las corrientes oceánicas.

La nieve se apila, se convierte en hielo, y luego en glaciares, que avanzan hacia el sur. En la plenitud de una edad de hielo, hay cinco capas de hielo extensas en la Tierra. Están las dos que han sido permanentes en millones de años (Groenlandia y la Antártida) y, adicionalmente, las tres que se forman sólo en las edades de hielo y en el hemisferio septentrional. Son la canadiense, la escandinava y la siberiana. La canadiense es la más vasta.

En total, cuando las capas de hielo alcanzan su extensión más grande, cubren más de 45.000.000 de kilómetros cuadrados de tierra, tres veces la cifra cubierta por los dos casquetes de hielo actuales. Esto suma un tercio de la superficie continental de la Tierra. El volumen total de hielo puede ascender a 75.000.000 de kilómetros cúbicos, lo cual suma un vigésimo de la provisión de agua total de la Tierra.

Asombrosamente, sucede que aun en la plenitud de una edad de hielo el océano apenas es afectado. La cantidad de agua del océano, cuando el hielo se ha expandido hasta su límite máximo, es el 97 por ciento de la actual, cuando existen dos capas de hielo. La vida marina apenas es afectada, y en todo caso para mejor, pues el océano se enfría levemente y contiene más oxígeno.

Más aun, la acumulación de hielo en las superficies continentales rebaja el nivel del mar en unos 100 metros, de modo que las plataformas continentales virtualmente quedan expuestas, y esta nueva tierra compensa la tierra cubierta de hielos.

Luego, cuando la situación astronómica se revierte hacia los veranos más cálidos y los derretimientos superan a la formación de hielos en invierno, se desencadena la acción contraria y los glaciares empiezan a retroceder.

Esta asimetría de las edades de hielo en los hemisferios septentrional y meridional aún no explica por qué las edades de hielo son típicas de los últimos millones de años y no de las épocas anteriores.

La causa es que el escenario que propicia la formación y desaparición de vastas capas de hielo depende de dos factores, un océano polar que sirva como depósito de agua y vastas superficies continentales que lo circunden que sirvan de base terrestre para formación de glaciares.

Esa es exactamente la situación actual, pero no siempre fue así. Hay una «deriva de los continentes», de modo que el diseño continental cambia de continuo. Hasta hace un millón de años, al parecer, el Océano Ártico era demasiado abierto, y las zonas continentales más próximas estaban muy al sur para servir como bases adecuadas para la formación de hielo. Ni siquiera los veranos ligeramente más frescos enfriaban una superficie suficiente para permitir que el hielo se acumulara.

Aparentemente los movimientos astronómicos descriptos en los dos capítulos anteriores sólo producen resultados dramáticos cuando uno de ambos polos está cercado por tierra sin estar del todo ocupado por tierra, como ahora el Polo Norte, ir eso sólo parece ocurrir cada 250.000.000 de años aproximadamente.

Mi conjetura es que la asimetría de la disposición de los continentes ha permitido una sucesión de edades de hielo durante el 1 por ciento de la historia de la Tierra (dando por supuesto que la situación astronómica de la Tierra siempre haya sido la de hoy), y casualmente nuestra especie humana ha evolucionado en los momentos finales de esa proporción de 1 contra 100.

V

NUESTRO SISTEMA SOLAR

10

EL COMETA QUE NO ESTABA

Acabo de recibir la llamada telefónica de una joven que me quiso comentar uno de mis libros.

—Desde luego —dije. Y luego, súbitamente alarmado por su tono de voz pregunté—: ¿Está llorando?

—Sí —dijo ella—. Realmente no es culpa de usted, supongo, pero su libro me puso tan triste...

Quedé atónito. Mis cuentos, aunque excelentes, se destacan ante todo por su atmósfera y tono cerebral y generalmente no se los considera importantes por su contenido emocional. De todos modos, hay un par de cuentos que podrían tocar las cuerdas de la sensibilidad[33], y no deja de ser halagüeño que los escritos de uno hagan llorar a alguien.

—¿A qué libro se refiere, señorita? —pregunté.

—A su libro sobre el Universo —dijo.

Si antes había quedado atónito, no era nada comparado con mi presente confusión. **«The Universe»** (Walker, 1966) es un volumen perfectamente respetable, escrito con un estilo lógico y vivaz, y no incluye una palabra capaz de provocar lágrimas. O eso creía yo.

—¿Pero cómo la entristeció ese libro? —pregunté.

—Estaba leyendo acerca de la evolución del Universo y de cómo debe terminar. Me hizo sentir que todo era inútil. Perdí las ganas de vivir.

—Pero señorita, ¿no notó que yo digo que nuestro Sol tiene por lo menos ocho billones de años de vida y que el Universo puede durar cientos de billones de años?

—Eso no es para siempre —dijo ella—. ¿A usted no lo desespera? ¿No les quita las ganas de vivir a los astrónomos?

—No, de ninguna manera —dije con firmeza—. Y usted tampoco debe sentirse así. Cada uno de nosotros tiene que morir en mucho menos de varios billones de años y aceptamos la idea, ¿verdad?

—No es lo mismo. Cuando morimos, otros nos siguen, pero cuando muera el Universo no quedará nada.

—Bueno, mire —le dije, desesperado por animarla—, puede ser que el Universo oscile y que nuevos Universos nazcan cuando mueran los viejos. Hasta es posible que los seres humanos aprendan a sobrevivir a la muerte de un Universo en el futuro.

Los sollozos parecían haber disminuido cuando me atreví a decirle adiós.

Me quedé un rato mirando el teléfono. Soy bastante blando de corazón y las listas de películas me hacen llorar, pero debo admitir que nunca se me ocurriría llorar por el fin del Universo de aquí a billones de años. De hecho, escribí acerca del fin del Universo en mi cuento «La última pregunta»[34] y estaba bastante exaltado.

Sin embargo, en ese momento empecé a sospechar que la astronomía puede ser un tema peligroso del que habría que proteger a las jóvenes sensibles. Sin duda, pensé, no puedo permitirme caer en la misma trampa, de modo que lo único que ahora puedo hacer es sentarme de inmediato ante la máquina de escribir y empezar resueltamente un ensayo sobre astronomía.

---

[33] *«The Ugly Little Boy»*, por ejemplo, que encontrarán en mi libro **«Nine Tomorrows»** (Doubleday, 1959).

[34] *«The Last Question»*, también en **«Nine Tomorrows»**.

Empecemos con el número siete, un número notoriamente afortunado. Se lo usa con toda suerte de connotaciones que lo hacen parecer el número natural para grupos importantes. Están las siete virtudes, los siete pecados capitales, las siete maravillas del mundo, etcétera, etcétera.

¿Cuál es el secreto?

Podría pensarse que se trata de alguna propiedad numérica. Tal vez podríamos concluir que hay algo de maravilloso en que sea la suma del segundo número par y el segundo impar; o en el hecho de que sea el mayor número primo por debajo de diez que es significativo.

No lo creo. Sospecho que el siete fue un número afortunado mucho antes de que la gente llegara a la sofisticación de elaborar una mística de los números.

En mi opinión, tendríamos que retroceder en el tiempo a un momento en que había siete objetos que eran exactamente siete, que inspiraban reverencia y eran importantes sin lugar a dudas. La naturaleza impresionante de esos objetos arrojaría luego un aura de sacralidad o buena fortuna sobre el número mismo.

¡Puede existir alguna duda de que los objetos a que me refiero tienen que ser los siete planetas tradicionales de la antigüedad, los objetos que ahora llamamos Sol, Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno!

Fueron los antiguos sumerios, en el tercer milenio antes de Cristo, quienes realizaron las primeras observaciones sistemáticas de estos siete cuerpos y observaron cómo cada cual cambiaba de posición noche a noche en relación con las estrellas fijas[35].

A los diseños cambiantes de los planetas respecto de las constelaciones que atravesaban en sus movimientos más o menos complejos[36] se les atribuyó gradualmente una significación relacionada con los asuntos humanos. Su influencia en este sentido era algo más de lo que el poder humano podía explicar, y naturalmente se los consideró dioses. Los sumerios denominaron a los planetas según diversos dioses de su panteón, y este hábito nunca se interrumpió en la historia occidental. Los nombres fueron reemplazados, pero siempre por los de otros dioses, y actualmente nosotros denominamos los planetas por los nombres de los dioses romanos.

De los siete planetas derivó el hábito del período de siete días que llamamos semana, en Sumeria, y cada día era presidido por un dios diferente, lo cual se refleja en los nombres de los días[37].

Los judíos recogieron la noción de la semana durante el cautiverio en Babilonia pero elaboraron una historia de la Creación que explicaba los siete días sin referencia a los siete planetas, pues los planetas-dioses no estaban permitidos en el monoteísmo estricto del judaísmo posterior al exilio.

Pero si el número siete perdió la sacralidad de los planetas en la ética judeocristiana, ganó la sacralidad del sábado. El aura de inviolabilidad, pues, aún parecía rodear a los siete planetas. De algún modo era impensable que hubiera ocho, por ejemplo, y esa sensación persistía en los dos primeros siglos de la ciencia moderna.

Después que el astrónomo Copérnico presentó su teoría heliocéntrica en 1543, el término «planeta» pasó a ser utilizado sólo para los cuerpos que giraban alrededor del Sol. Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno seguían siendo planetas según el nuevo criterio, pero el Sol mismo no lo era, por supuesto. Tampoco la Luna, que pasó a ser un «satélite», nombre otorgado a los cuerpos que primariamente giraban alrededor de un planeta, como la Luna giraba alrededor de la Tierra. Para compensar la pérdida de la Luna y el Sol, la Tierra, misma pasó a ser considerada un planeta en la teoría copernicana.

Pero era sólo una nomenclatura. Fuere cual fuese el nombre de los varios cuerpos errantes visibles en el cielo a simple vista, había exactamente siete, y todavía nos referiremos a ellos como los «siete planetas tradicionales».

En 1609 el astrónomo de Pisa, Galileo, enfocó el telescopio hacia el cielo y descubrió que había miríadas de estrellas fijas demasiado tenues para ser contempladas a simple vista, pero que de todos modos existían. Pese a ello, nadie parece haber sugerido que del mismo modo

---

[35] Fue este cambio de posición lo que originó el término «planeta», que proviene de la palabra griega que significa «vagabundear».

[36] Véase *«The Stars in Their Courses»*, en el libro del mismo nombre (Doubleday, 1971).

[37] Véase *«Moon over Babylon»* en **«The Tragedy of the Moon»** (Doubleday, 1973).

podían descubrirse también nuevos planetas. La inviolabilidad del sagrado número siete parecía segura.

Claro que también había cuerpos, no observables a simple vista, en el mismo Sistema Solar, pues en 1610 Galileo descubrió cuatro cuerpos más pequeños alrededor de Júpiter, satélites de ese planeta tal como la Luna es satélite de la Tierra. Luego, antes del fin de ese siglo, se descubrieron cinco satélites de Saturno, lo cual sumaba un total de diez satélites conocidos, nuestra Luna incluida.

No obstante, tampoco eso alteró el número sagrado de siete. En forma curiosamente ilógica, nuestra Luna conservaba su lugar aparte, mientras que los satélites de Júpiter y Saturno eran unidos a sus respectivos planetas primarios. Podemos racionalizar esta noción diciendo que aún había sólo siete cuerpos errantes *visibles* en el cielo... es decir, visibles sin ayuda de instrumentos.

Además, estaban los cometas, desde luego, que erraban entre las estrellas también, pero su aspecto era tan atípico y sus idas y venidas tan imprevisibles que no se podía contar con ellos. Aristóteles presumía que eran exhalaciones atmosféricas, parte de la Tierra y no del cielo. Otros sospecharon que eran creaciones especiales enviadas a través del cielo como señales contundentes, por así decirlo, para anunciar catástrofes.

Aún en 1758, cuando la predicción del astrónomo inglés Edmund Halley de que el cometa de 1682 (hoy llamado «Cometa de Halley» en su honor) regresaría ese año fue verificada y se comprendió que los cometas trazaban órbitas fijas alrededor del Sol, tampoco se los incluyó entre los planetas. El aspecto seguía siendo demasiado atípico, y las órbitas con forma de cigarro demasiado alargadas para permitirles el ingreso al recinto sagrado.

Y, sin embargo, lo curioso es que existe un vagabundo adicional que cumple con todos los requisitos de los siete tradicionales. Es visible sin ayuda de instrumentos y se desplaza en relación con las estrellas fijas. No puede negársele el derecho de considerarlo un planeta adicional, de manera que por el momento llamémoslo «Adicional».

¿Por qué Adicional nunca fue observado a través de los siglos hasta el dieciocho? Para responder a esa pregunta, preguntemos por qué los siete planetas tradicionales sí fueron observados.

Ante todo, son brillantes. El Sol es obviamente el objeto más brillante del cielo, y la Luna, aunque le sigue de lejos, tiene el segundo lugar. Aun los cinco planetas tradicionales restantes, que son puntos semejantes a estrellas y mucho más tenues que el Sol y la Luna, brillan pese a todo mucho más que cualquier otro objeto celeste. En el Cuadro 14 se da la magnitud de los siete planetas, además de la de Sirio y Canopo, las dos estrellas fijas más brillantes... y la de Adicional (Hablaré del tema de las magnitudes, de paso, en el capítulo 13).

CUADRO 14

Objeto	***Magnitud en el punto más brillante***	***Brillo (Sirio = 1)***
Sol	–26,9	15.000.000
Luna	–12,6	30.000
Venus	–4,3	14
Marte	–2,8	3,5
Júpiter	–2,5	2,5
Sirio	–1,4	1,0
Mercurio	–1,2	0,9
Canopo	–0,7	0,5
Saturno	–0,4	0,4
Adicional	+5,7	0,0015

Como ven, los cinco planetas tradicionales más brillantes son también los cinco objetos más brillantes del cielo. Ni siquiera los dos planetas tradicionales más opacos están muy a la zaga de Sirio y Canopo. De modo que es obvio que los siete planetas tradicionales llaman la atención y cualquiera que observase el cielo en tiempos primitivos los vería aun cuando no viera mucho más.

Adicional, por otra parte, tiene un brillo que equivale a sólo 1/700 del de Sirio y apenas a 1/270 del de Saturno. Aunque es visible sin ayuda de instrumentos, es *apenas* visible.

Desde luego, el brillo no es el único criterio. Sirio y Canopo tienen un brillo planetario, pero nadie los confundió con planetas. Un planeta tenía que variar de posición entre las estrellas fijas, y cuanto más rápido se desplazara antes se reparaba en él.

La Luna, por ejemplo, se desplaza muy rápidamente, a un promedio de 48.100 segundos de arco por día, una distancia que casi equivale a veintiséis veces su propio ancho. Bastaría observar la Luna de noche una sola hora en condiciones sumerias (cielos límpidos y falta de ciudades iluminadas) para distinguir inequívocamente el desplazamiento.

El resto de los planetas se mueve más despacio; y en el Cuadro 15 se da el desplazamiento promedio por día de cada uno de ellos, Adicional incluido.

CUADRO 15

Planeta	***Desplazamiento medio (segundos de arco por día)***	***Días que tarda en recorrer el ancho de la luna***
Luna	48.100	0,038
Mercurio	15.500	0,125
Venus	5.840	0,319
Sol	3.550	0,525
Marte	1.910	0,976
Júpiter	302	6,17
Saturno	122	15,3
Adicional	42,9	43,5

Pueden ver que entre los siete planetas tradicionales Júpiter y Saturno son los que se mueven despacio, y que Saturno es de lejos el más lento de los dos. Saturno tarda 29,5 años en trazar un círculo en el firmamento. Quizá por esa razón Saturno fue el último planeta descubierto en la antigüedad, pues era el menos brillante y el menos rápido (Mercurio, que compite por ese honor, es en cierto sentido el más difícil de ver porque está siempre cerca del Sol, pero una vez que se lo atisba al alba o al atardecer su extraordinaria velocidad puede delatarlo enseguida).

¿Pero qué pasa con Adicional, que tiene sólo 1/270 del brillo de Saturno y se desplaza a poco más de 1/3 de su velocidad? Esa combinación de opacidad y lentitud es fatal. Ningún observador de la antigüedad y muy pocos en los primeros tiempos del telescopio tenían probabilidades de estudiar ese objeto noche a noche. No había nada que lo hiciera más notorio que cualquiera de los dos o tres millares de estrellas restantes de igual brillo. Aun si los astrónomos lo observaban varias noches consecutivas, su movimiento lento bastaba para disimular su condición.

De modo que Adicional pasó inadvertido, al menos como planeta. Cualquiera con 20/20 de visión que mirara en esa dirección vería una «estrella», desde luego, y también cualquiera que mirara con un telescopio.

De hecho, cualquier astrónomo con telescopio, registrando la posición de las diversas estrellas en el cielo, podía ver Adicional, tomarlo por una estrella e incluso bautizarlo. En 1690 el astrónomo inglés John Flamsteed lo ubicó en la constelación de Tauro, lo registró y lo llamó «34 Tauri».

Después, algún otro astrónomo pudo haber visto a Adicional en un lugar diferente, registrar la nueva posición y darle un nuevo nombre. No habría habido razón para identificar la nueva estrella con la vieja. De hecho, el mismo astrónomo pudo haberla registrado en posiciones ligeramente distintas en noches distintas, cada vez como una estrella distinta. El astrónomo francés Pierre Charles Lemonnier aparentemente registró la posición de Adicional trece veces diferentes en trece lugares diferentes a mediados del siglo dieciocho, con la impresión de que estaba observando trece estrellas diferentes.

¿Cómo era posible? Hay dos razones.

En primer lugar, los demás planetas eran planetas sin lugar a dudas, aun sin tener en cuenta el movimiento y el brillo. Los planetas no eran puntos de luz como las estrellas; eran discos redondos. El Sol y la Luna parecían discos a simple vista, mientras que Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno parecían discos aun a través de los telescopios primitivos de los siglos diecisiete y dieciocho. Adicional, en cambio, no aparecía en los telescopios de hombres como Flamsteed y Lemonnier como un disco, y en ausencia de un disco ¿por qué iban a considerarlo un planeta?

La segunda razón es que el número siete constituía una tradición tan arraigada en el pensamiento del hombre que Adicional, como planeta, era impensable, así que los astrónomos no pensaban en él. Era como haber resuelto que uno acababa de descubrir el octavo día de la semana.

Pero entonces entró en escena Friedrich Wilhelm Herschel, nacido en Hannover el 15 de noviembre de 1738. Hannover era entonces un estado independiente en lo que hoy es Alemania Occidental, y por razones históricas su gobernante era también el Rey Jorge II de Gran Bretaña.

El padre de Herschel era un músico del Ejército de Hannover y Herschel siguió la misma profesión. En 1756, sin embargo, estalló la Guerra de los Siete Años (curiosa coincidencia que el número siete figurara crucialmente en la vida de Herschel de una manera tan poco astronómica) y los franceses, enemigos de Prusia y Gran Bretaña, ocuparon los dominios hannoverianos del monarca británico en 1757.

El joven Herschel, que no deseaba sufrir las desdichas de una ocupación enemiga, logró escabullirse de Hannover, desertar del ejército y llegar a Gran Bretaña, donde vivió el resto de su vida y donde se anglificó el nombre reduciéndolo a un simple «William».

Continuó su carrera musical y hacia 1766 era un organista y profesor de música célebre en la ciudad balnearia de Bath, con unos treinta y cinco alumnos semanales. La prosperidad le dio la oportunidad de satisfacer su ferviente deseo de aprender. Aprendió por sí solo latín e italiano. La teoría de los sonidos musicales lo llevó a las matemáticas, lo cual a su vez lo llevó a la óptica. Leyó un libro que trataba de los hallazgos de Isaac Newton en óptica y se sintió colmado de un fervoroso y profundo anhelo de observar el firmamento.

Pero necesitaba un telescopio. No podía costearse la compra, y cuando trató de alquilar uno la calidad del aparato resultó tan mala que lo que vio —o mejor dicho, no vio— terminó por defraudarlo.

Finalmente decidió que no le quedaba más salida que intentar construirse un telescopio, y sobre todo, pulir sus propias lentes y espejos. Pulió doscientos fragmentos de vidrio y metal sin conseguir llegar con ello a resultados satisfactorios.

Luego, en 1772, regresó a Hannover para traer a su hermana Caroline, quien pasó el resto de su vida ayudando primero a William y luego al hijo de él, John, en sus labores astronómicas, con un fervor tan exclusivo que la alejó del matrimonio o de cualquier forma de vida privada[38].

Con la ayuda de Caroline, la suerte de Herschel mejoró. Mientras molía los cristales, la hermana le leía y lo alimentaba. Eventualmente adquirió cierta habilidad profesional y elaboró telescopios que le resultaron satisfactorios. En realidad, el músico que no podía costearse la compra de un telescopio terminó fabricándose los mejores telescopios existentes en el momento.

Su primer telescopio eficaz, terminado en 1774, era un reflector de 6 pulgadas, y con él pudo ver la Gran Nebulosa de Orión y distinguió claramente los anillos de Saturno. Para un aficionado no estaba mal.

---

[38] Eventualmente realizó observaciones astronómicas propias con un telescopio que le hizo William. Descubrió ocho cometas, fue la primera astrónoma de importancia, y murió diez semanas antes de cumplir los noventa y ocho años.

Pero era sólo el principio. Empezó a utilizar el telescopio sistemáticamente, pasándolo de un objeto celeste al otro. Bombardeó a las gentes doctas con informes sobre las montañas de la Luna, las manchas solares, las estrellas variables y los polos marcianos. Fue el primero en notar que el eje de Marte estaba inclinado respecto del plano de revolución casi en el mismo ángulo que la Tierra, de modo que las estaciones de Marte eran esencialmente análogas a las de la Tierra con la diferencia de que duraban el doble y eran mucho más frías.

La noche del martes 13 de marzo de 1781, Herschel, en su exploración del cielo, se topó con Adicional.

Ahora había una diferencia importante. Herschel observaba a Adicional con un telescopio muy superior a los utilizados por los astrónomos anteriores. El telescopio de Herschel magnificó el objeto al punto de que apareció como un disco. Herschel, en otras palabras, estaba mirando un disco donde se suponía que no había ninguno.

¿Comprendió de inmediato que había descubierto un planeta? Claro que no. Un planeta adicional era impensable. Aceptó la única posibilidad que le quedaba y anunció que había descubierto un cometa.

Pero siguió observando a Adicional y el 19 de marzo pudo ver que cambiaba de posición con respecto a las estrellas fijas a una velocidad equivalente a sólo un tercio de la de Saturno.

Ese factor era problemático. Aun desde los tiempos de la Antigua Grecia se había aceptado que cuanto más lento fuera el desplazamiento respecto de las estrellas fijas más lejos estaba el objeto de nosotros, y la nueva astronomía telescópica lo había confirmado, con la modificación de que lo que contaba era la distancia a partir del Sol.

Como Adicional se desplazaba mucho más lentamente que Saturno, tenía que estar más lejos del Sol que Saturno. Desde luego, los cometas tenían órbitas que los llevaban mucho más allá de Saturno, pero allí no se veía ningún cometa. Los cometas tenían que estar mucho más cerca del Sol para resultar visibles.

Más aun, la dirección del movimiento de Adicional indicaba a las claras que el objeto se desplazaba entre los signos del zodíaco, como todos los planetas, algo que virtualmente ningún cometa hacía.

Luego, el 6 de abril de 1781, Herschel logró ver a Adicional con la nitidez suficiente para advertir que el pequeño disco tenía bordes nítidos como un planeta y no brumosos como los de un cometa. Más aún, no parecía tener cola.

Finalmente, cuando hizo las observaciones suficientes para calcular una órbita, descubrió que esa órbita era casi circular, como la de un planeta, y no alargada como la de un cometa.

De mala gana, tuvo que aceptar lo impensable. Su cometa no estaba; era un planeta. Más aun, a juzgar por la lentitud del desplazamiento estaba mucho más allá de Saturno; estaba dos veces tan lejos del Sol como Saturno.

De golpe, el diámetro del sistema planetario conocido se duplicó. De 2.850.000 kilómetros, el diámetro de la órbita de Saturno, se había elevado a 5.710.000.000 de kilómetros, el diámetro de la órbita de Adicional. La gran lejanía de Adicional es la culpable de su opacidad, su desplazamiento lento contra las estrellas, su disco inusitadamente pequeño... en pocas palabras, de su tardío reconocimiento como planeta.

Ahora correspondía a Herschel bautizar ese planeta. En un arrebato excesivo de diplomacia, se inspiró en el nombre del monarca que entonces reinaba en Gran Bretaña, Jorge III, y lo llamó «Georgium Sidus» («astro de Jorge»), un nombre poco imaginativo para un planeta.

Claro que el Rey Jorge se sintió halagado. Perdonó oficialmente la deserción juvenil de Herschel del Ejército de Hannover y lo designó su astrónomo privado de la corte con una retribución de trescientas guineas anuales. Como descubridor de un nuevo planeta, el primero en por lo menos cinco mil años, se transformó de inmediato en el astrónomo más célebre del mundo, una posición que conservó (y mereció, pues realizó muchos otros descubrimientos importantes) hasta el fin de sus días. Tal vez lo más alentador fue que en 1788 casó con una viuda rica y sus problemas financieros terminaron para siempre.

Afortunadamente, pese al flamante prestigio de Herschel, el nombre que le puso a Adicional no fue aceptado por los indignados intelectuales de Europa. No iban a abandonar la práctica tradicional de bautizar a los planetas según los dioses clásicos para halagar a un rey británico. Cuando algunos astrónomos británicos sugirieron «Herschel» como nombre del nuevo planeta, también se rechazó esa propuesta.

Fue el astrónomo alemán Johann Elert Bode quien sugirió una solución clásica. Los planetas que están más lejos del Sol que la Tierra presentan una secuencia generacional. Esos planetas son, por orden, Marte, Júpiter y Saturno. En la mitología griega, Ares (el Marte romano) era hijo de Zeus (el Júpiter romano), quien era hijo de Cronos (el Saturno romano). Para un planeta más allá de Saturno, sólo es necesario recordar que Cronos era hijo de Ouranos (el Urano romano). ¿Por qué no llamar «Urano» al nuevo planeta?

La propuesta fue aceptada con un clamor de satisfacción, y Urano se llamó y se ha llamado desde entonces. Curiosamente, la sacralidad del siete no fue en realidad perturbada por el descubrimiento de Urano. Al contrario, fue reafirmada. Según el sistema copernicano, en el cual el Sol y la Luna no son planetas y la Tierra sí, sólo había seis planetas conocidos antes de 1781. Estos, ordenados según la distancia a partir del Sol, eran Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno. Una vez que se añadió Urano el número de planetas copernicanos pasó a *siete*.

A medida que crecían la reputación y la fortuna de Herschel, construyó telescopios mayores y mejores. En 1787 volvió a observar su planeta Urano y descubrió dos satélites que giraban a su alrededor, el undécimo y duodécimo conocidos (contando nuestra Luna[39]). Estos satélites fueron llamados eventualmente Titania y Oberón, por la reina y el rey de las hadas del «Sueño de una noche de verano» de Shakespeare. Fue la primera vez que se dejó de lado la mitología clásica para bautizar los satélites.

Estos satélites presentaban una anomalía interesante. Los ejes de varios de los planetas estaban inclinados respecto del plano de las revoluciones orbitales. Así, el eje de Saturno tenía 27 grados de inclinación, el de Marte 24 grados y el de la Tierra 23,5 grados. El eje de Júpiter era un poco inusual, pues sólo tenía 3 grados de inclinación.

Los planos de las revoluciones orbitales de los satélites de Júpiter y Saturno tenían la misma inclinación que los ejes de esos planetas. Los satélites giraban en el plano del ecuador planetario[40].

Pero los satélites de Urano se movían en un plano con 98 grados de inclinación respecto de la perpendicular al plano de la órbita de Urano. ¿Era posible que el eje de Urano estuviera tan inclinado que estuviera casi en el plano de la revolución orbital? En tal caso, Urano daba vueltas alrededor del Sol inclinado sobre un costado, por decirlo de algún modo.

Esa inclinación axial extrema eventualmente fue confirmada, y hasta el día de hoy los astrónomos no poseen una explicación adecuada de por qué Urano es el único planeta conocido en esas condiciones.

Pero éste no es el resultado más dramático obtenido gracias al estudio de Urano. Me referiré al resto en el capítulo 11.

---

[39] En 1789 descubrió dos satélites más de Saturno, con lo cual los de ese planeta sumaban siete y el total catorce.

[40] Véase «*The Wrong Turning*», en **«The Planet That Wasn't»** (Doubleday, 1976).

11

EL PLANETA VERDE MAR

Hace un tiempo había llegado a una universidad para dar una charla, y una joven que era estudiante en la institución me guiaba por el lugar.

Me precedía, acercándose a una puerta vaivén, cuando un joven alto (presumiblemente otro estudiante), pasó corriendo, cruzó la puerta y la hizo oscilar con violencia. La puerta golpeó a la muchacha en el pecho y la hizo tambalear.

Irritado, atravesé la puerta corriendo y lo llamé.

—Lo felicito, imbécil. Magnífico trabajo.

Se paró en seco y se volvió lentamente, frunciendo el entrecejo y torciendo los labios. Tal vez no sabía a qué me refería yo, pero por mi expresión debió de advertir que no me caía bien.

Se acercó amenazadoramente y, como no se me ocurrió otra cosa, me quedé donde estaba.

—¿Le duele algo? —dijo.

—En realidad no —dije—. Simplemente usted acaba de pasar por esa puerta, la dejó oscilando y golpeó a una chica, y quería felicitarlo a usted por el *record*.

Aparentemente el joven no estaba acostumbrado a los sarcasmos dichos con tono amable. Lo meditó, buscó alguna frase de su limitado arsenal, y dijo:

—Cuide su (epíteto anulado) lenguaje, ¿entiende?

—Muy bien —dije—. ¿Cuál de las palabras que utilicé le parece reprobable?

Eso lo contuvo otra vez, de modo que buscó otra frase.

—Oiga, no me gustan sus modales.

Allí estaba, quince centímetros más alto que yo y con menos de la mitad de mis años. Deseando fervorosamente que mis cabellos grises me protegieran, sonreí y dije:

—¿Y qué planea hacer al respecto?

En realidad, sus posibles planes me tenían bastante preocupado, pero para mi alivio dijo:

—Pues bien, no creo en la violencia física.

—¡Bien! —respondí—. ¿Entonces por qué golpeó a esa muchacha?

—Fue un accidente —dijo.

—No le oí pedir disculpas —dije yo.

Me miró a mí, miró a la muchacha (quien temía aun más que yo que me partieran en dos, pues yo estaba a cargo de ella), y luego, como no se le ocurrió otro modo de rehuir las disculpas que emprender la fuga, se volvió y se marchó.

Fue muy exasperante. Tengo el optimismo de adherir a la teoría de que toda la gente es buena, de modo que las personas odiosas alteran mi imagen del universo. Y sin embargo, cuando considero el problema racionalmente, sé que hay gente odiosa aquí y allá, aun entre los científicos.

Consideren el caso del Bueno de Adams y los Odiosos Challis y Airy...

Cuando Isaac Newton terminó de elaborar su teoría de la gravitación, la ecuación que dedujo se aplicaba a una situación que sólo involucraba dos cuerpos. Si la Luna y la Tierra fueran los dos únicos cuerpos del Universo, la ecuación de Newton describiría la trayectoria de la Luna y la Tierra alrededor de su centro común de gravedad con suma precisión. El «problema de dos cuerpos» queda resuelto.

En cuanto uno se enfrenta con tres cuerpos —digamos la Luna, la Tierra y el Sol—, sus movimientos no pueden ser expresados exactamente por la ecuación de Newton, ni por ninguna ecuación elaborada a partir de entonces. El «problema de tres cuerpos» aún no está resuelto.

En realidad no tiene importancia, salvo para los teorizadores. De hecho, aunque el Universo no contiene meramente tres cuerpos sino incontables trillones, la ecuación de Newton sigue siendo bastante funcional.

Si se quiere describir el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, primero se resuelve como si sólo existieran la Luna y la Tierra. Como primera aproximación es bastante atinada.

Luego se calculan los efectos mucho menores de los cuerpos más distantes. Como la atracción gravitacional entre dos cuerpos decrece con el cuadrado de la distancia entre sus centros y como todos los otros cuerpos astronómicos están mucho más lejos de la Tierra y la Luna que esos dos cuerpos entre sí, se supone que los otros efectos serán mínimos.

El Sol, sin embargo, es tan grande que pese a la gran distancia ejerce una fuerza gravitacional significativa. Mientras la Luna describe su órbita alrededor de la Tierra, a veces está un poco más cerca del Sol que su planeta primario, a veces un poco más lejos. Ambos cuerpos sufren el efecto gravitacional del Sol en grados ligera y variablemente diferentes. Esto introduce un pequeño efecto modificador en el movimiento de la Luna que puede ser calculado.

La tracción aun menor de Venus, que varía con la distancia entre ese planeta y la Tierra y la Luna, también puede ser calculada. También la de Marte, la de Júpiter, etcétera.

La inclusión de todas estas fuerzas que gravitan sobre la Luna, en todas sus variaciones temporales, produce una ecuación aproximada (nunca exacta) que es tan enormemente compleja que Newton dijo que el problema del movimiento de la Luna era el único que le provocaba dolores de cabeza.

Estas diversas atracciones menores, que hacen variar un movimiento orbital respecto de lo que sería si sólo existieran esos dos cuerpos vecinos, se denominan «perturbaciones».

Teóricamente, todo objeto del Universo puede producir una perturbación que afecte el movimiento de todos los demás cuerpos. En la práctica, cuanto más masivo sea el cuerpo perturbado, menos masivo el cuerpo perturbador y mayor la distancia entre ambos, menor será la perturbación. El efecto perturbador de una sonda planetaria en el planeta que sobrevuela o el efecto perturbador de la estrella Alderabán sobre la Luna son inconmensurablemente pequeños y podemos desecharlos.

Utilizando la ecuación de Newton y teniendo en cuenta todas las perturbaciones de tamaño razonable, el movimiento de los diversos planetas y satélites del Sistema Solar pudo ser deducido con razonable precisión. De Mercurio a Saturno todos los mundos marchaban por el cielo casi tal como lo predecía la ecuación. Los astrónomos de las primeras décadas del siglo diecinueve tenían instrumentos que podían hacer mediciones bastante aproximadas; la ecuación de Newton concordaba con esas mediciones para felicidad de los astrónomos.

¿Pero Urano? Ese planeta no se conocía en la época de Newton, pues sólo había sido descubierto en 1781, según describí en el capítulo precedente. ¿La ecuación de Newton funcionaría también con él?

El caso parecía bastante sencillo, pues Urano, en las fronteras del Sistema Solar, parecía a salvo de toda influencia perturbadora. El cuerpo conocido más cercano a Urano era Saturno, que a lo sumo llegaba a acercársele 1.500.000.000 de kilómetros. El cuerpo conocido más próximo a Urano después de Saturno era Júpiter, que a lo sumo llegaba a acercársele 2.100.000.000 de kilómetros.

Esto significaba que al calcular la órbita de Urano alrededor del Sol había que tener en cuenta un pequeño efecto perturbador de Saturno y un pequeño efecto perturbador de Júpiter, y eso era todo. Por lo que se sabía, todos los demás cuerpos del Universo eran demasiado pequeños o estaban demasiado lejos, o ambas cosas a la vez, para producir perturbaciones perceptibles.

De modo que el movimiento de Urano a través del cielo era observado con interés y su posición confrontada año tras año con la teoría.

Entonces surgieron problemas. En 1821 el astrónomo francés Alexis Bouvard reunió todas las observaciones acerca de Urano realizadas deliberadamente a partir del descubrimiento del planeta y las realizadas accidentalmente antes de su descubrimiento, en los tiempos en que ocasionalmente se lo registraba en los mapas astronómicos como una estrella. Trató de

armonizar los datos con la órbita calculada de Urano, pero no encajaban. Volvió a calcular el efecto perturbador de Júpiter y Saturno con gran cuidado, y de todos modos la posición real del planeta rehusaba coincidir con la posición calculada.

La diferencia entre la posición real ocupada por Urano y la posición teórica que se suponía debía ocupar nunca era muy grande —no más de 2 minutos de arco, o sea un quinto del diámetro aparente de la Luna— pero ese «nunca muy grande» no era satisfactorio. Lo que querían los astrónomos era una «diferencia insignificante».

¿Cómo dar cuenta, entonces, del comportamiento de Urano?

Una explicación posible era que hubiera un ligero error en la ecuación de Newton. De acuerdo con esa ecuación, la fuerza de la atracción gravitatoria entre dos cuerpos disminuía según el cuadrado de la distancia entre los centros de ambos *(inverse-square law).*

Pero podía suponerse que la disminución de la fuerza gravitatoria no equivaliera exactamente al cuadrado de la distancia. Tal vez el factor no era d^2 sino $d^{2,0001}$ o $d^{l.9999}$. En ese caso habría una discrepancia entre el movimiento calculado obtenido mediante la ecuación de Newton y el movimiento real que dependía de una ley ligeramente diferente. Más aun, cuanto mayor fuera la distancia entre dos cuerpos, mayor sería la discrepancia.

Hasta Saturno, la discrepancia, si existía, tenía que ser tan pequeña que escapaba a la detección, pues hasta allí todos los cuerpos grandes seguían con precisión las trayectorias calculadas. A la distancia entre Urano y el Sol (dos veces la de Saturno) la discrepancia podía haberse expandido al punto de ser detectable. Además, las distancias entre Urano y los dos cuerpos perturbadores, Saturno y Júpiter, eran mayores que las distancias equivalentes para planetas más cercanos al Sol, de modo que las perturbaciones también podían ser considerablemente distorsionadas mediante el uso de la ecuación de Newton.

Los astrónomos, sin embargo, rehusaban cuestionar la ecuación de Newton antes de descartar otras posibilidades. Una razón era estética. La ley de Newton podía ser representada tan simplemente en una fórmula matemática que era «elegante», y a ningún científico le gusta interferir con la elegancia hasta que falle todo lo demás.

Otra razón era práctica. Si la ecuación de Newton era modificada para dar cuenta del movimiento de Urano, sería un ajuste *ad hoc*. El giro latino *ad hoc* significa «para este propósito», y se utiliza para cualquier argumento que es esgrimido con la sola intención de explicar un fenómeno que de otra manera resulta asombroso, especialmente si el argumento no puede ser aplicado a cualquier otro fenómeno.

Aunque un ajuste *ad hoc* de la ecuación de Newton sirviera para Urano, no había otro cuerpo en el Sistema Solar que pudiera encajar en él, pues sólo Urano estaba lo suficientemente lejos para que el ajuste tuviera sentido, y un ajuste sólo para Urano no resultaba convincente.

Desde luego, de haber otro planeta distante, su movimiento también podría verificarse y si sus movimientos también concordaban con el reajuste de la ecuación de Newton el argumento resultaría más convincente.

Pero si existía otro planeta distante además de Urano, podía ser la fuente de una perturbación que daría cuenta de la discrepancia en el movimiento de Urano. En ese caso no sería necesario reajustar la ecuación.

Algunos astrónomos se aferraron de esa posibilidad. Otro planeta, o sea, otra fuerza gravitacional, o sea, otra perturbación, o sea, una nueva trayectoria orbital para Urano, era una perspectiva deliciosa. ¿Pero dónde estaba el planeta?

No podía estar más cerca del Sol que Urano, pues si era tan grande para producir una perturbación perceptible en Urano también debía serlo lo bastante para ser detectado sin inconvenientes, y no lo había sido. Más aun, en ese caso debía de haber producido una perturbación hasta ahora inexplicable en la órbita de Saturno, y no había tal perturbación.

El planeta desconocido, si existía, tendría que estar más lejos que Urano, con un disco más pequeño y un movimiento más lento que cualquier otro planeta, pues así habría rehuido toda detección hasta el momento. Además, desde un punto lo bastante alejado de Urano, estaría lo bastante cerca de ese planeta para perturbarlo perceptiblemente pero demasiado lejos de Saturno para perturbar a este planeta perceptiblemente.

No bastaba con postular un distante Planeta Ocho más allá de Urano. Había que detectarlo. Pero si Urano apenas resultaba visible al ojo desnudo, el Planeta Ocho, aun más pálido, sin duda sólo resultaría visible con el telescopio, y con su disco diminuto y su

desplazamiento lento se perdería en el vasto número de estrellas igualmente pálidas. La detección sería de veras dificultosa.

¿Pero por qué no invertir el procedimiento? Si se sabe dónde está un planeta y cómo se mueve, se puede calcular su efecto perturbador en Urano. Dado el efecto perturbador, ¿no se puede calcular dónde está el planeta y cómo se mueve y por lo tanto saber dónde buscarlo?

Aquí entra en escena el científico británico John Couch Adams, quien en 1841 tenía veintiún años y estaba estudiando en Cambridge. Era el primero de su curso de matemáticas y se le ocurrió tratar de calcular la posición del Planeta Ocho.

Si el Planeta Ocho estaba en el lado opuesto a Urano con respecto al Sol mientras ambos seguían sus lentas trayectorias orbitales, la distancia entre los dos sería demasiado grande para que existiera una perturbación detectable sobre Urano. Por lo tanto, ambos tenían que estar del mismo lado con respecto al Sol.

Como la posición de Urano estaba un poco adelantada respecto de la posición calculada, el Planeta Ocho, durante todos o la mayoría de los años desde el descubrimiento de Urano, tenía que haberlo precedido, de tal modo que su atracción gravitacional hubiera apresurado a Urano. Urano, sin embargo, estando más cerca del Sol, se desplazaría más rápido que el Planeta Ocho y por lo tanto lo alcanzaría (Lo alcanzó en 1822, de hecho). Por lo tanto, el Planeta Ocho estaría detrás de Urano y tendería a disminuir levemente la velocidad de Urano. Todos estos factores debían ser tenidos en cuenta.

Adams hizo algunas presunciones simplificatorias como punto de partida. Presumió que el Planeta Ocho sería de un tamaño similar al de Urano, que se desplazaría en una órbita perfectamente circular en el mismo plano que Urano, y que estaba a una distancia del Sol que duplicaba la de Urano (así como la distancia de Urano con respecto al Sol duplicaba la de Saturno).

Eligió todas estas presunciones para facilitar los cálculos, pero eran razonables. Valiéndose de ellas y de las discrepancias observadas en la posición de Urano año por año, Adams trabajó durante su tiempo libre y en septiembre de 1845 había calculado la posición del Planeta Ocho para el 19 de octubre de ese año. Estaba en un punto dentro de la constelación de Acuario.

Naturalmente, el planeta no estaría exactamente en ese punto a menos que todas las presunciones de Adams fueran exactamente correctas, cosa altamente improbable (Una de ellas resultó bastante desatinada, pues la distancia del Planeta Ocho respecto del Sol no equivalía al doble, sino a sólo 1,5 veces la de Urano). Cualquiera podía darse cuenta, luego, de que no bastaría con mirar exactamente el lugar predicho, sino que habría que escudriñar las zonas y estudiar miles de estrellas.

Adams dio el resultado de sus cálculos a James Challis (el primer villano de la obra), pues Challis era director del *Observatorio de Cambridge*. La esperanza de Adams consistía en que Challis, disponiendo de telescopios, escrutara Acuario en busca del planeta. Challis tenía otra opinión. Sabiendo muy bien que la búsqueda sería tediosa y que lo más probable era no llegar a ningún resultado, se desligó del asunto. Entregó a Adams una carta de recomendación para el astrónomo George Biddell Airy (el segundo villano), y así pasó la responsabilidad a otro.

Airy era un sujeto presuntuoso, envidioso y mezquino que dirigía el *Observatorio de Greenwich* como un tirano. Lo obsesionaban los detalles e invariablemente perdía de vista el panorama general. Así, más tarde en su vida, preparó expediciones con el propósito de estudiar los tránsitos de Venus a través del Sol en 1874 y 1882. Determinando la hora exacta en que Venus aparentemente establecía contacto con el disco solar según se lo viera desde puntos de observación diferentes, se podría calcular la distancia entre Venus y la Tierra, y por lo tanto, entre los otros planetas y el Sol (se esperaba) con una exactitud sin precedentes.

Airy pasó años entrenando a los observadores, diseñando un modelo de tránsito de Venus sobre el que pudieran practicar, asegurándose personalmente de que todo estuviera empacado y etiquetado del modo más meticuloso, poniendo a punto hasta el último detalle menor, tal como si sus subalternos no tuvieran más de cinco años de edad, pero sin considerar jamás el efecto que podía ejercer la densa atmósfera venusina. Resultó que, en efecto, esa atmósfera se oscureció en el preciso momento del contacto entre Venus y el disco solar y toda la expedición fue inútil.

Prácticamente, el único éxito de Airy fue personal. Fue el primero en diseñar lentes para corregir el astigmatismo. Él mismo era astigmático.

Fue con esta persona odiosa con quien Adams trató de comunicarse. El teléfono aún no se había inventado, así que Adams viajó dos veces a Greenwich y ninguna de las dos veces encontró a Airy en casa. La tercera vez, Airy estaba cenando y no quería ser molestado (naturalmente). Adams dejó la carta y Airy al fin la leyó sin inmutarse (naturalmente). Airy, con su habitual talento para escoger la solución errónea, estaba convencido de que la ecuación de Newton necesitaba un ajuste y no quería saber nada de nuevos planetas. Por lo tanto perdió tiempo escribiéndole a Adams y pidiéndole que revisara algunos puntos que eran completamente irrelevantes para el problema.

Adams sabía que eran irrelevantes, así que suspiró y desistió. Ni siquiera respondió la carta.

Entretanto, en Francia, el joven astrónomo Urbain Jean Joseph Leverrier también trabajaba en ese problema. Hizo las mismas presunciones que Adams y ubicó el Planeta Ocho en Acuario, muy cerca de donde lo había ubicado Adams. Completó la tarea medio año después que Adams, desde luego sin tener noción de lo que había hecho el joven inglés.

Leverrier, quien ya tenía cierta reputación como astrónomo (al contrario de Adams) fue estimulado por sus superiores (al contrario de Adams) y publicó sus cálculos.

Airy leyó la publicación de Leverrier, luego le escribió formulándole la misma pregunta irrelevante que había formulado a Adams, pero sin decir a Leverrier que Adams ya había realizado el trabajo. Al contrario de Adams, Leverrier respondió inmediatamente, señalando que la pregunta era irrelevante.

Airy, aunque a regañadientes, quedó impresionado. Dos hombres habían llegado a una solución similar y le habían señalado la necedad de su propia objeción. Por lo tanto escribió a Challis, de Cambridge, pidiéndole que inspeccionara el cielo en la posición indicada para ver si podía descubrir un planeta.

Challis no tenía más interés que antes en emprender la búsqueda. No pensaba que pudiera llegar a nada y estaba más preocupado por ciertos cómputos triviales que estaba haciendo, relacionados con las órbitas de los cometas. Así que no se apuró. Sólo tres semanas después de recibir la solicitud de Airy empezó sus investigaciones, y con mucha lentitud.

El 18 de septiembre de 1846 hacía seis semanas que había emprendido la tarea, examinando miles de estrellas de mala gana, sin interés ni entusiasmo, y sin cotejar las estrellas observadas un día con las observadas otro día para cerciorarse de si alguna de ellas se desplazaba en relación al resto, lo cual le hubiera indicado sin sombra de duda que era un planeta.

Entretanto, el 18 de septiembre, Leverrier, que no había recibido ninguna respuesta de Cambridge y pensó que en todo caso el *Observatorio de Berlín* era el mejor de Europa, escribió a Berlín. El director del *Observatorio de Berlín* accedió a investigar el asunto y pidió al astrónomo alemán Johann Gottfried Galle que se hiciera cargo.

Galle hubiera tenido que afrontar las mismas tediosas comprobaciones que afrontaba Challis (aunque indudablemente con mayor laboriosidad y escrúpulo) de no haber sido por un golpe de suerte. El *Observatorio de Berlín* había estado preparando una cuidadosa serie de mapas astronómicos y un astrónomo de veinticuatro años del observatorio, Heinrich Ludwig D'Arrest, anunció a Galle que él se fijaría si había un mapa de Acuario.

Lo había, y de sólo medio año antes. Galle tomó el mapa y el problema se simplificó. No tenía que buscar un disco visible. No tenía que hacer estudios día a día para ver si el cuerpo se movía contra el fondo estelar. Todo lo que tenía que hacer era cerciorarse de si algún objeto de ese sector del cielo había cambiado de posición.

La noche del 23 de septiembre de 1846, pues, Galle y D'Arrest se pusieron a trabajar. Galle manejaba el telescopio, escudriñando el cielo metódicamente, fijándose en las posiciones de las estrellas, una por una, mientras D'Arrest miraba el mapa para comprobar las posiciones,

Hacía no más de una hora que trabajaban cuando Galle declaró la posición de una estrella de octava magnitud y D'Arrest exclamó excitado: «¡No está en el mapa!»

¡Era el planeta! Estaba a sólo cincuenta y dos minutos (aproximadamente 1,5 veces el ancho aparente de la Luna llena) del punto predicho. Naturalmente, Galle lo observó noche a noche, pero a la semana tuvo la certeza de que se movía. El Planeta Ocho había sido descubierto.

Una vez que se anunció la noticia, Challis revisó apresuradamente sus propias observaciones y descubrió que había visto Neptuno en cuatro ocasiones diferentes pero nunca había comparado las posiciones y por eso no sabía qué había hallado.

Tanto Airy como Challis se habían puesto en ridículo y lo sabían. Habían perdido la oportunidad de un magnífico hallazgo. Ninguno de los dos, en sus torpes tentativas de autojustificación, pensaron en la deuda que tenían con Adams.

El astrónomo inglés John Herschel conocía el trabajo de Adams, sin embargo, y salió a la palestra por él. Herschel era hijo del descubridor de Urano, y un astrónomo personalmente valioso, de modo que su palabra tenía peso. En cuanto se anunció el descubrimiento de Neptuno, Herschel escribió una carta declarando que Adams había realizado la tarea antes que Leverrier y había llegado a la misma conclusión.

Naturalmente, los franceses se indignaron ante lo que parecía un intento de los británicos de cosechar los laureles, y por mucho tiempo se entabló una feroz y amarga controversia en la que Adams y Leverrier no participaron (Más tarde se conocieron y trabaron amistad). Fue un final feliz, pese a todo. Hoy día, los dos hombres comparten el mérito de haber descubierto el Planeta Ocho, como corresponde.

(Resultó, por supuesto, que Galle no había sido el primero en avistar el planeta. El 8 de mayo de 1795, sólo catorce años después del descubrimiento de Urano, el astrónomo francés Joseph Jérome de Lalande reparó en una estrella cuya posición registró. Dos días más tarde observó de nuevo y notó afligido que había cometido un error en la posición. Registró la nueva posición y se olvidó del asunto. En realidad no había cometido ningún error. La «estrella» se había desplazado en esos dos días porque Lalande, sin saberlo, había estado mirando el Planeta Ocho).

¿Cuál sería el nombre del nuevo planeta? Los astrónomos franceses, irritados por las declaraciones británicas, se esforzaron para consignar sus propios méritos dando al planeta el nombre «Leverrier». Dulcificaron la sugerencia proponiendo que Urano fuera desprovisto de su nombre mítico y llamado «Herschel» (que había sido la sugerencia original de los astrónomos británicos). Se destacó que los cometas se bautizaban con el nombre de los descubridores y que eso había sentado un precedente.

Todos, salvo los astrónomos franceses, sin embargo, elevaron un aullido de protesta y la proposición fue descartada. Se volvió a la mitología.

El Planeta Ocho tiene un color verdusco definido cuando se lo ve en el telescopio y Leverrier tal vez tenía esto en mente al sugerir, cuando se iniciaron las discusiones, que el nuevo planeta verde mar fuera denominado según el dios romano del mar verde, Neptuno (equivalente al dios griego Poseidón). La sugerencia fue escuchada.

¿Y qué le ocurrió al pobre John Couch Adams después de todo esto? Por lo que sé, nunca se dejó vencer por la amargura. Trabajó como astrónomo y llegó a demostrar que el enjambre de meteoros Leónidas tenía una órbita alargada, como los cometas, y así reforzó la idea de que buena parte de los escombros interplanetarios del Sistema Solar interior consistían en fragmentos de cometas desintegrados.

En 1860 Challis abandonó su puesto en el *Observatorio de Cambridge* y Adams fue designado director, tal vez a modo de tácita disculpa por lo ocurrido. Luego, en 1881, Airy se retiró después de haber sido astrónomo real durante cuarenta y cinco años, y también ese puesto fue ofrecido a Adams. Adams lo rechazó, pues se sentía demasiado viejo para tomar la responsabilidad.

Airy y Adams también estuvieron curiosamente unidos en la muerte. Airy murió el 2 de enero de 1892, a los 90 años y 4 meses. Adams lo siguió menos de tres semanas después, el 21 de enero de 1892, a los 72 años y 6 meses. Galle, en cambio, sobrevivió en más de seis décadas a su observación de Neptuno, y murió el 10 de julio de 1910 a la edad de 98 años y 1 mes.

12

DESCUBRIMIENTO POR PARPADEO

El otro día me entrevistaron sobre el tema de la inmortalidad y sostuve con cierta insistencia en que era algo perjudicial. La inmortalidad, dije, era perjudicial para la especie porque frenaría su evolución, perjudicial para la sociedad porque la última generación estaría constituida indefinidamente por los mismos individuos, cada vez más tediosos, y perjudicial para el individuo porque a la larga preferiría la muerte al aburrimiento. De hecho, cualquier sociedad de inmortales, dije, simplemente cambiaría la muerte circunstancial por la muerte voluntaria, con quizá pocos cambios en las expectativas vitales al fin y al cabo.

Todo esto, creo, no era lo que quería oír el entrevistador. Por lo tanto personificó el problema y dijo:

—¿Piensa que *usted* querría morir algún día, suponiendo que gozara de buena salud y podría vivir para siempre si lo deseara?

—Claro que sí —afirmé.

—¿Cuándo?

—Cuando ya no tuviera deseos de escribir —dije.

—¿Y eso cuándo sería? —preguntó.

—Jamás —dije, y mandé al demonio todo mi argumento.

Otro entrevistador trató una vez de debilitar mi tozuda resistencia a pasar la vida de otro modo que no fuera ante la máquina de escribir.

—Pero suponga que sólo le quedaran seis meses de vida —me dijo—. ¿Qué haría entonces?

—Escribir más rápido —respondí sin vacilación.

Bien, ¿qué tiene de malo esa actitud? Hay muchas personas que están, o estuvieron, obsesivamente interesadas en el campo de trabajo que las absorbía. Simplemente ocurre que la mayoría de estos campos no resultan tan notorios para el público en general como el oficio de escritor.

Supongan que mi manía implicara la búsqueda de un planeta nuevo y todavía no detectado. ¿Quién sabría de mi locura salvo otros pocos astrónomos?

Lo cual, naturalmente, me lleva al tema de los descubrimientos planetarios, al que daremos fin con este capítulo.

En 1781 se descubrió Urano, el séptimo planeta del Sistema Solar por orden de distancia creciente a partir del Sol (ver capítulo 10), y en 1846 se descubrió Neptuno, el octavo planeta (ver capítulo 11). ¿Fue el final?

No. Urano había sido un accidente, pero Neptuno fue gloria y triunfo, y ningún astrónomo pudo resistir la tentación de repetir la proeza. Los astrónomos *querían* que existieran más planetas.

¿Y por qué no? El campo gravitacional del Sol dominaba el espacio, sin interferencia significativa siquiera de las estrellas más próximas, por una distancia que equivalía por lo menos mil veces a la de Neptuno. A través de esa distancia, aun presumiendo que cada planeta estuviera al doble de distancia del Sol que el anterior, habría lugar para por lo menos diez planetas trasneptunianos.

Desde luego, aunque existieran dichos planetas, descubrirlos sería extraordinariamente difícil.

Ante todo, cuanto más alejado del Sol está un planeta, recibe y refleja menos luz y esa luz reflejada nos resulta menos perceptible. Así, Saturno, a una distancia de 1.400.000.000 de kilómetros del Sol, resplandece brillantemente en nuestro cielo con una magnitud de –0,4 y es más luminoso que todas las estrellas salvo las dos más brillantes.

Urano, el planeta que le sigue, a una distancia de 2.800.000.000 de kilómetros del Sol, tiene una magnitud de sólo 5,7 volviéndolo prácticamente invisible sin ayuda de instrumentos. Neptuno, a una distancia de 4.500.000.000 tiene una magnitud de 7,6 y nunca puede ser visto sin instrumental, aunque sí con un telescopio pequeño.

El planeta siguiente a Neptuno tendría una magnitud de tal vez 12 o 13 a lo sumo y sólo podría ser avistado con un telescopio grande. Y los que estuvieran más lejos quizá fueran demasiado opacos para verlos aun con el mayor telescopio disponible.

Sin embargo, los astrónomos pueden distinguir estrellas con magnitudes considerablemente inferiores a 12 o 13. Dejando de lado los planetas aun más remotos, no parecía existir razón para suponer, a fines del siglo diecinueve, que el noveno planeta, el más próximo de los planetas trasneptunianos, no podría ser visto si existía.

Pero aun así, verlo no era suficiente. Cuanto más opaco sea el objeto que se trata de ver con el telescopio, mayor será el número de estrellas de igual o mayor brillo que se verá también. Urano tiene relativamente pocas estrellas alrededor que en el telescopio sean tanto o más brillantes que el planeta. Neptuno, que es mucho más opaco, está rodeado por muchas más estrellas que compiten exitosamente con él, y cualquier planeta trasneptuniano se perdería en una verdadera nevisca de estrellas.

¿Podría identificarse al planeta trasneptuniano oculto entre el enjambre estelar? Tendría dos propiedades que de inmediato lo distinguirían como planeta: al contrario de las estrellas, mostraría un disco, y mostraría un movimiento respecto de las estrellas cercanas.

El problema es que cuanto más alejado está un planeta menos probable es que tenga un disco perceptible, especialmente si está más allá de Neptuno, empequeñecidos por la distancia. En cuanto al movimiento, cuanto más alejado esté un planeta más lento se desplazará. En el caso del planeta trasneptuniano, pues, habría un disco especialmente pequeño y un movimiento especialmente lento. La detección sería difícil.

Un modo de aumentar las escasas probabilidades de encontrar el planeta sería tratar de deducir aproximadamente en qué sector del cielo estaría y luego concentrar la búsqueda en esa región.

Neptuno se descubrió porque la órbita de Urano indicaba la presencia de una fuerza gravitacional extraña. De la índole del efecto de esa fuerza sobre el movimiento de Urano se obtuvo una idea aproximada de la posición y distancia de Neptuno, que era fuente de la perturbación. Se buscó a Neptuno en el lugar indicado, en la constelación de Acuario, y se lo halló.

¿Se podría repetir el proceso? ¿Las imperfecciones de la órbita de Neptuno no podrían utilizarse para localizar el noveno planeta y luego utilizar sus imperfecciones orbitales para localizar el décimo planeta, y así sucesivamente?

Hay un inconveniente. Cuanto más alejado está el planeta más tiempo le lleva completar una revolución alrededor del Sol. La precisión con que pueden detectarse las imperfecciones orbitales depende de la fracción de vuelta que ha realizado.

Así, Urano completa su revolución en ochenta y cuatro años, y en 1846, cuando se descubrió Neptuno, Urano había sido observado continuamente durante sesenta y cinco años, o sea, 0,77 de su período revolucionario. Neptuno daba la vuelta al Sol en ciento sesenta y cinco años, y en 1900, cuando hacía cincuenta y tres años que se lo observaba continuamente, sólo había completado 0,32 de su período revolucionario.

De modo que a principios del siglo veinte la órbita de Neptuno aún no se conocía con suficiente precisión para utilizarla en la localización del planeta trasneptuniano.

¿Y Urano, entonces? Hacia 1900 había sido observado continuamente durante 1,4 de sus períodos revolucionarios. Una vez que se tuvo en cuenta la atracción de Neptuno, ¿no quedaba ninguna discrepancia por aclarar en el movimiento orbital de Urano? Si existía el planeta trasneptuniano, tenía que ejercer algún efecto en Urano, aunque desde luego muy inferior al efecto de Neptuno, pues el planeta trasneptuniano estaría considerablemente más alejado de Urano que Neptuno.

En efecto, la atracción de Neptuno sólo explicaba aproximadamente 59/60 de la discrepancia que había existido en los cálculos de la órbita de Urano. Aún quedaba 1/60 sin explicar, y la causa debía de ser un planeta trasneptuniano. Pero la cifra era demasiado pequeña como punto de partida.

Quedaban otros objetos en existencia en las regiones exteriores del Sistema Solar, los cometas. Hacia fines del siglo diecinueve se conocía un número de cometas cuyas órbitas estaban calculadas. Algunos de ellos tenían afelios (es decir, los puntos más alejados del Sol) en las vecindades de la órbita de Júpiter. Se pensaba que la atracción de Júpiter había fijado las órbitas de los cometas en esa zona y a dichos cometas se los conocía como la «familia de Júpiter».

Había cometas con afelios bien alejados de Júpiter que probablemente habían sido afectados por los planetas más distantes. En particular, había varios cometas (entre ellos el de Halley) con afelios mucho más allá de la órbita de Neptuno. ¿No era posible que los hubiese capturado un planeta trasneptuniano?

No eran líneas de ataque muy promisorias: la ínfima discrepancia orbital de Urano, las muy vagas discrepancias orbitales de Neptuno, y el testimonio muy incierto de los afelios de los cometas. Pero había que arreglarse con eso. Hacia 1900 los astrónomos estaban empezando a proponer especulaciones en cuanto a la posible órbita de un planeta trasneptuniano. Las teorías eran, por supuesto, de lo más variadas.

El efecto gravitacional de ese planeta en Urano y Neptuno se adecuaría mejor si se imaginaba que la fuente se desplazaba alrededor del Sol con una velocidad particular. Conocida la distancia, podía calcularse la masa planetaria requerida para producir un efecto en Urano y Neptuno. Luego, si ninguna órbita circular se adecuaba a los hechos, se podía imaginar una órbita claramente elíptica y con un plano orbital de cierta inclinación, de modo que la distancia del planeta respecto de Urano y Neptuno difiriera considerablemente en un extremo y otro de la órbita.

Los datos con que contaban los astrónomos, por empezar, eran tan escasos, vagos o inciertos que las soluciones más diversas eran casi igualmente posibles. Un astrónomo sugirió que el planeta trasneptuniano era más masivo que Júpiter y estaba a una distancia de 15.000.000.000 de kilómetros, tres veces la distancia entre Neptuno y el Sol. Otros sugirieron un planeta más pequeño a sólo 6.000.000.000 de kilómetros del Sol, menos de una vez y media la distancia entre Neptuno y el Sol. Algunos sugirieron dos y aun tres planetas trasneptunianos entre los 6.000.000.000 y 15.000.000.000 de kilómetros a partir del Sol.

Los dos cálculos más cuidadosos, sin embargo, fueron los de los astrónomos norteamericanos Percival Lowell y William Henry Pickering. Ambos habían nacido en Boston, Massachusetts; Lowell el 13 de marzo de 1855 (en el 74º aniversario del descubrimiento de Urano) y Pickering el 15 de febrero de 1858.

En cierto modo eran rivales. Lowell era el gran defensor de los canales de Marte[41], pero en ese sentido era una figura minoritaria entre los astrónomos profesionales. Pocos otros observadores atinaban a ver los canales (que eran, según hoy se ha comprobado, ilusiones ópticas), salvo en forma incierta y ocasional, y ninguno atinaba a verlos tan nítida y detalladamente como Lowell.

Pickering encabezaba el grupo opuesto. Era casi tan asiduo como Lowell en su estudio de Marte, y aunque declaraba haber observado marcas rectas, eran pocas y cambiantes y no se parecían a las descriptas por Lowell.

(Pickering, de todos modos, tenía sus propias debilidades. Estaba seguro, por sus estudios detallados de la Luna, que nuestro satélite albergaba vida, algo en todo caso mucho más sorprendente que el hallazgo de canales marcianos).

Ahora, en la primera década del siglo veinte, los dos bostonianos entraron en un nuevo campo de rivalidad, pues ambos buscaban el planeta trasneptuniano. Lowell, esforzándose por explicar las anomalías orbitales de Urano y Neptuno, elaboró cálculos extensos y dedujo un planeta trasneptuniano que tenía una órbita muy inclinada y muy elíptica. Estimó que su distancia respecto del Sol oscilaba entre 5.100.000.000 de kilómetros en el perihelio y 7.700.000.000 de kilómetros en el afelio. La órbita de Pickering, obtenida con menos cómputos y más intuición, estaba mucho más alejada del Sol que la de Lowell.

---

[41] Véase *«The Olympian Snows»*, en **«The Planet That Wasn't»** (Doubleday, 1976).

Dadas las órbitas, cualquiera podía predecir la posición aproximada de su propio planeta trasneptuniano teórico en un momento dado. Teóricamente, bastaba con escudriñar ese sector del cielo para hallar el planeta, pero no era tan fácil.

Teóricamente, podía observarse cada estrella de la región, asentar su posición, y ver si esa estrella estaba registrada en un mapa estelar. Si no estaba, había surgido de otra parte y era un planeta. Ese sistema era precisamente el utilizado en el hallazgo de Neptuno, pero con este nuevo planeta, mucho más opaco, había demasiadas estrellas para cotejar. Aun cuando los astrónomos del siglo veinte disponían de la fotografía para registrar las posiciones de las estrellas y luego estudiarlas cómodamente, un elemento que no poseían los descubridores de Neptuno en 1846, el método demostró a corto plazo que no era práctico.

Lowell, que trabajaba en el *Observatorio Lowell*, construido por él en la límpida atmósfera desértica de Flagstaff, Arizona, utilizó otro método. Fotografió una porción del cielo en la región donde pensaba que podía estar el planeta, luego tomó otra fotografía similar tres días más tarde. En tres días, aun el movimiento lento del planeta trasneptuniano habría producido una alteración detectable.

Luego, tomando los pares de fotografías, comparaba las muchas estrellas de una con las de la otra en un lento y penoso esfuerzo por comprobar si había cambios de posición. Repitió esta operación durante unos once años, inclinado infatigablemente sobre las placas, examinándolas con una lente de aumento, estudiando los puntos diminutos y comparándolos.

De vez en cuando hallaba alteraciones y el corazón le daba un brinco, pero las alteraciones eran demasiado grandes y resultaban ser asteroides. A medida que se hacían más y más observaciones de Neptuno y se conocían mejor sus discrepancias orbitales, Lowell revisaba sus cálculos orbitales y variaba la dirección de sus esfuerzos más intensos. Cuando tenía que alejarse del laboratorio, sus ayudantes continuaban las investigaciones y él les escribía constantemente pidiéndoles siempre novedades.

Cuando regresaba revisaba de nuevo las placas, cotejándolas otra vez[42].

Se arruinó la salud, perdió el peso y la ecuanimidad, y murió de una apoplejía el 12 de noviembre de 1916, a la edad relativamente joven de sesenta y un años.

Los esfuerzos de Pickering no habían sido tan intensos como los de Lowell, pero llegaron a su culminación pocos años después de la muerte de Lowell. En el *Observatorio Mount Wilson*, California, un joven astrónomo, Milton La Salle Humason, utilizando las cifras de Pickering, se puso a buscar el planeta trasneptuniano empleando el mismo método de Lowell.

Humason tampoco tuvo éxito, pero no perseveró demasiado. El fracaso de Lowell había descorazonado a muchos investigadores, y al cabo de un tiempo Humason decidió que el planeta no existía y se desentendió de la búsqueda. En años posteriores, al volver a mirar las placas que había tomado con el beneficio de la retrospección, descubrió que había fotografiado dos veces el planeta trasneptuniano. Una vez, una estrella vecina más brillante que el planeta lo había borroneado. La segunda, la imagen había coincidido con una diminuta fisura de la foto.

Una persona que no desistió fue Percival Lowell. Él podía estar muerto, pero su dinero no. Había dejado un fondo financiero para ser utilizado en la búsqueda del planeta trasneptuniano, y una década después de su muerte su hermano Abbott Lawrence Lowell[43] incrementó los fondos con más dinero.

Para 1929 este dinero había posibilitado el agregado de un nuevo instrumento al equipo del *Observatorio Lowell*, un telescopio con un amplio campo visual y capaz de fotografiar nítidamente todas las estrellas de una zona celeste considerablemente más vasta de lo que era posible anteriormente. Con una exposición de una hora, los astros de hasta la decimoséptima magnitud podían ser registrados, y el planeta trasneptuniano, si existía, sería por cierto lo bastante brillante para ser detectado.

También se sumó al equipo un joven astrónomo llamado Clyde William Tombaugh. Tombaugh había nacido en Streator, Illinois, el 4 de febrero de 1906, y su familia era demasiado

---

[42] No tengo la menor duda de que si le hubieran preguntado qué haría si supiese que sólo le quedaban seis meses de vida, habría respondido: «¡Mirar con mas cuidado!».

[43] Abbott fue Presidente de la *Universidad de Harvard* durante un cuarto de siglo. La hermana de Percival Lowell fue la poetiza Amy Lowell; su tío abuelo fue el poeta James Russell Lowell.

pobre para costearle estudios universitarios. Sin embargo, tenía suficiente interés en la astronomía para construir un telescopio con una lente de 9 pulgadas, utilizando componentes de maquinarias viejas que obtenía en la granja del padre. Con este telescopio casero, observó cuidadosamente Marte, vio los canales, y envió un informe adjuntando datos sobre su experiencia en la fabricación del telescopio y sus observaciones a Vesto Melvin Slipher, quien era entonces director del *Observatorio Lowell*. Tombaugh pensaba, y con razón, que el observatorio se interesaría en todo lo que estuviera relacionado con los canales. Slipher recibió una buena impresión y ofreció al joven un puesto.

Tombaugh, con poco más de veinte años, joven, vigoroso y lleno de entusiasmo, asumió la tarea que tanto había preocupado a Lowell y continuó la búsqueda del planeta trasneptuniano. Se puso a tomar fotografías del campo estelar en Aries, Tauro y Géminis, la zona donde los cálculos de Lowell indicaban que debía estar el planeta. En cada placa había millares de estrellas.

La tarea habría continuado siendo virtualmente imposible de no haber sido por otro adelanto técnico. Tombaugh disponía de un «comparador por parpadeo» que Lowell no había tenido.

El comparador por parpadeo podía proyectar luz a través de la placa tomada cierto día y luego a través de la placa tomada días más tarde, y repetir la operación en una alternación rápida. Las placas coincidían de tal modo que las estrellas de cada una de ellas se proyectaban en el mismo lugar. Las verdaderas estrellas de la foto quedarían pues en la misma posición relativa y producirían exactamente la misma imagen. La alternación era tan rápida que el ojo no detectaba el cambio sino que veía una figura permanente y fija.

Pero si había un objeto planetario, se habría desplazado en el intervalo entre la toma de una y otra fotografía, y el efecto del comparador sería el de mostrar al planeta primero en una posición y luego en otra, en rápida alternación. El planeta parpadearía rápidamente mientras todo lo demás seguía inmóvil.

Ahora no era necesario comparar cada una de los miles de estrellas de una placa con los miles de estrellas de la otra. Bastaba con estudiar cada parte de la placa para captar ese diminuto parpadeo y asegurarse de que el movimiento era demasiado pequeño para que se tratara de un asteroide.

Tombaugh inició la búsqueda en otoño de 1929 y en febrero de 1930 estaba trabajando con la región intermedia entre Tauro y Géminis. Aquí las estrellas estaban apiñadas con especial densidad y algunas placas contenían hasta 400.000 astros. Tombaugh se hartó y en forma totalmente arbitraria, sólo para tomarse un descanso, pasó al otro extremo de Géminis; donde las estrellas estaban más dispersas y las placas mostraban sólo 50.000.

El 18 de febrero, a las 4 de la tarde, localizó el parpadeo. Era un objeto de decimoquinta magnitud y el desplazamiento era de apenas 3,5 milímetros. No podía ser un asteroide. Tenía que ser el planeta trasneptuniano. Buscó fotografías anteriores de la región para ver si podía localizar una «estrella» que pareciera haberse desplazado progresivamente. Sabiendo dónde mirar, no tuvo problema en encontrarla.

Observó día tras día el objeto, y cada día el movimiento demostraba más concluyentemente que era lo que había estado buscando. El descubrimiento del noveno planeta fue anunciado formalmente el 13 de marzo de 1930, que era el 149º aniversario del descubrimiento de Urano y el 75º aniversario del nacimiento de Percival Lowell.

Hubo quienes sugirieron llamar «Lowell» al nuevo planeta, pero la propuesta no se consideró seriamente. Se necesitaba un nombre mitológico, y se adoptó «Plutón».

Era un nombre apropiado, pues el nuevo planeta, más lejos del Sol que ningún otro, estaba lo bastante sumergido en las tinieblas del espacio para recibir el nombre del dios del submundo tenebroso. Además, las dos primeras letras del nombre eran las iniciales de Percival Lowell, y no piensen que quienes propusieron el nombre no lo habían advertido.

Causa cierta tristeza pensar que si Percival Lowell sólo hubiera llegado a la muy plausible edad de setenta y cinco habría presenciado el descubrimiento. Pickering, que murió en 1938, a un mes de su octogésimo cumpleaños, vivió para verlo.

De todos modos, en ciertos sentidos el descubrimiento fue pura suerte. La órbita de Plutón era notoriamente diferente de la calculada por Lowell. Además, era bastante más

inclinada y elíptica de lo que Lowell había supuesto. Más aun, la órbita de Plutón se acercaba considerablemente más al Sol de lo que Lowell había presumido, pues en el afelio estaba a 7.400.000.000 de kilómetros del Sol y en el perihelio a sólo 4.400.000.000 de kilómetros. Incluso, en el perihelio llegaba más cerca del Sol de lo que nunca llega Neptuno (Sin embargo, la inclinación de la órbita de Plutón es tanta que aun cuando parece cruzarse con la de Neptuno en los dibujos habituales del Sistema Solar, lo hace a 1.400.000.000 de kilómetros de distancia en la tercera dimensión). Lowell había supuesto que el planeta trasneptuniano completaría su ciclo alrededor del Sol una vez cada 282 años (Pickering había calculado 373, años), pero el período revolucionario real de Plutón era de 248 años.

Fue una suerte que Plutón estuviera en una parte de su órbita relativamente cercana a la posición calculada por Lowell. Si hubiera estado en otra parte de la órbita, habría estado tan lejos del punto calculado que la búsqueda emprendida por Lowell, Humason, y Tombaugh no habría tenido éxito.

La discrepancia orbital podía dejarse de lado, pese a todo, considerando la incertidumbre de los datos con que Lowell había tenido que trabajar. Lo que era mucho más importante era que Plutón fuera tan opaco. Tenía por lo menos dos magnitudes menos de lo esperado y no mostraba un disco. Ambos hechos podían ser explicados suponiéndolo considerablemente más pequeño que cualquiera de los planetas exteriores. No sólo era mucho más pequeño que los gigantescos Júpiter y Saturno, sino mucho más pequeño que Urano y Neptuno, enormes pero no tan descomunales.

De hecho, cuanto más se lo estudiaba más pequeño parecía. Durante un tiempo se pensó que era tan masivo como la Tierra pero en años recientes datos más precisos parecían demostrar que no es más masivo que Marte, o sea, un décimo de la masa terrestre.

A principios de 1976, análisis espectroscópicos de su luz confirmaron lo que antes se suponía: que el planeta estaba a suficiente distancia del Sol, y por lo tanto era suficientemente frío, para tener una capa de metano congelado en la superficie. Pero el metano se congela sólo a temperaturas inferiores a los 89 grados absolutos. Para que la temperatura de una superficie planetaria permanezca tan baja, el planeta no sólo debe estar alejado del Sol sino que debe ser tan pequeño como para no haber desarrollado mucho calor interno. Algunos astrónomos hoy se preguntan si la masa de Plutón no será equivalente a la de la Luna, o sea, 1/80 de la de la Tierra.

Sea cual fuere la masa real, es seguro que Plutón es demasiado pequeño para haber capturado algún cometa o haber ejercido algún efecto significativo en los movimientos orbitales de Urano o Neptuno. Todas las discrepancias orbitales utilizadas para calcular la posición del planeta trasneptuniano no tienen ninguna relación con Plutón. El descubrimiento de Plutón es apenas una recompensa accidental y marginal por la busca del planeta trasneptuniano, tal como el descubrimiento de América por Colón cuando el navegante se dirigía al Asia.

Pero eso significa que el planeta trasneptuniano (o trasplutoniano, como convendría llamarlo ahora) que explique esas discrepancias orbitales debe existir y tiene que estar en alguna parte. Probablemente está más lejos que Plutón y por cierto debe de ser más masivo. Tal vez el tamaño es tan grande como para compensar la mayor distancia y quizá no sea mucho más opaco que Plutón y pueda ser detectado sin mayores inconvenientes, pero tengo la impresión de que nadie lo busca.

Bien, podemos esperar. Neptuno fue descubierto sesenta y cinco años después de Urano, y Plutón fue descubierto ochenta y cuatro años después de Neptuno. Si consideramos un lapso razonable de cien años para el planeta trasplutoniano, eso nos llevaría al 2030.

Para entonces, si la civilización sobrevive, podríamos tener un gran telescopio orbital o lunar que permitiría observar sin la interferencia de la atmósfera. Más aun, los progresos en computación probablemente permitirán al telescopio buscar el parpadeo sin interferencia humana y reducirían a meses el tiempo de una tarea que con el equipo de Tombaugh quizá habría llevado siglos.

Y luego puede descubrirse el planeta trasplutoniano.

De hecho, cuando podamos instalar estaciones astronómicas en el Sistema Solar exterior quizá descubramos varios planetas trasplutonianos y el Sistema Solar adquiera el vasto tamaño que en realidad debe tener.

VI

NUESTRO COSMOS

13

LUCES EN EL CIELO

Hace unos meses recibí una propuesta inusual. Una joven encantadora, que me había conocido en una convención y había sido impresionada por mi gentileza, me escribió para decirme que estaba por cumplir veinticinco años. Su mejor amiga, casualmente, también celebraría los veintiocho años el mismo día.

Me preguntaba si sería posible festejarlo llevándome a almorzar a la Sala de Té Rusa.

Titubeé. Vivo en una perpetua atmósfera de plazos acechantes y he endilgado largos sermones a quienes me escuchan acerca de la iniquidad de las gentes que siempre esperan que almuerce con ellas cuando necesito desesperadamente seguir pegado a la máquina de escribir. De todos modos, almorzar con dos muchachas jóvenes para colaborar en la celebración de sus cumpleaños es muy diferente de un almuerzo de negocios, ¿correcto? Y, además, la Sala de Té Rusa es uno de mis restaurantes favoritos, ¿correcto?

Así que finalmente accedí. En su momento, llegué al restaurante y encontré a las dos jóvenes esperándome. Batieron las palmas alegremente y me senté entre ambas de excelente humor. Lo pasamos realmente muy bien, hablando, bromeando, riendo, y cuando llegó la hora del postre, me dispuse a pedir mi inevitable *baklava*.

La casa, sin embargo, de algún modo había advertido que se celebraba algún cumpleaños y me lo endosaron a mí.

Vinieron dos mozos trayendo una torta con una velita. Cantaron «Que los cumplas feliz» y me pusieron la torta delante.

Comprendí por qué. Si uno ve a un hombre maduro flanqueado por dos jóvenes atractivas y sabe que alguien cumple años, piensa que es el hombre quien está recibiendo un regalo especial.

Pero no me gustan las imprecisiones, así que con una simpática sonrisa dije a los mozos:

—No, no. Son las jóvenes las que cumplen años. Yo soy el regalo.

La mirada de reverente respeto que me clavaron los mozos fue digna de verse. Pero ya me conocen: simplemente me quedé sentado con aire de modestia.

La moraleja es que las cosas no son siempre lo que parecen... lo cual me lleva al tema de este artículo.

El primer astrónomo que intentó hacer un mapa del cielo e indicar la posición de al menos algunas de las diversas estrellas fue Hiparco de Nicea. Preparó un mapa alrededor del 130 aC, en el que registró 1.080 estrellas dando la latitud y longitud celestial de cada una tal como podía determinarse sin la ayuda de un telescopio ni un reloj moderno.

La posición de una estrella era una de las dos propiedades estelares que podía determinarse sin instrumentos modernos. La otra era el brillo relativo, y ciertas estrellas son al fin y al cabo más brillantes que otras. Hiparco no dejó de tenerlo en cuenta.

Dividió las estrellas en seis clases. La primera clase incluía a las veinte estrellas más brillantes del cielo. La segunda incluía estrellas más opacas que las anteriores; y la tercera, estrellas aun más opacas. Seguían la clase cuarta, quinta y sexta, y la última incluía estrellas apenas visibles para una persona de vista aguda en una noche oscura y sin luna.

Cada clase eventualmente fue denominada «magnitud», de la palabra latina que significa «grande». Era muy natural emplear esa palabra, pues en los tiempos antiguos y medievales se suponía que las estrellas estaban todas a la misma distancia, todas adheridas a la materia dura del «firmamento» como chinches luminosas. Era casi como si fueran orificios diminutos en el

firmamento, a través de las cuales brillaba la gloriosa luz del paraíso, y la diferencia de brillo dependía pues del tamaño o magnitud del agujero.

Las estrellas más brillantes, pues, eran las de «primera magnitud», las que les seguían eran de «segunda magnitud», y así sucesivamente.

Las obras de Hiparco no sobrevivieron hasta los tiempos modernos, pero casi tres siglos después otro astrónomo, Claudio Ptolomeo de Alejandría, publicó una reseña de los conocimientos astronómicos de la época basada principalmente en Hiparco. Ptolomeo incluía el mapa de Hiparco, con algunas correcciones, y también la noción de las magnitudes. Como la obra de Ptolomeo sobrevivió hasta el presente, aún hoy conservamos la división de las estrellas en magnitudes.

La división de las estrellas en magnitudes era al principio puramente cualitativa. Algunas estrellas de primera magnitud son indudablemente más brillantes que otras estrellas de primera magnitud, pero el hecho no se tomó en cuenta. Los astrónomos tampoco se preocuparon porque las estrellas de primera magnitud más opacas fueran apenas poco más brillantes que las estrellas de segunda magnitud más brillantes. De hecho, existe una gradación continua del brillo de las estrellas, pero la clasificación en clases rígidas nos lo hace olvidar.

En la década de 1830 se iniciaron tentativas para mejorar el sistema de Hiparco y Ptolomeo, que para entonces ya tenía dos mil años de existencia.

Un pionero fue el astrónomo inglés John Herschel, quien estaba observando las estrellas meridionales desde el Cabo de Buena Esperanza. En 1836 diseñó un instrumento que proyectaba una pequeña imagen de la Luna llena que brillaba o se opacaba si uno manipulaba una lente. La imagen podía equipararse en brillo a la imagen de una estrella en particular. De esta manera, Herschel podía estimar el brillo relativo de las estrellas con bastante exactitud y podía determinar gradaciones menores que toda una magnitud.

Utilizar la Luna llena, sin embargo, restringía el uso del aparato a ciertos momentos, y sólo podían ser medidas las estrellas más brillantes, pues las más opacas se deslucían en el claro de luna.

Casi simultáneamente, sin embargo, el físico alemán Carl August von Steinheil había diseñado un artefacto similar que podía yuxtaponer las imágenes de dos estrellas diferentes, a una de las cuales se le podía infundir brillo u opacidad para compararla con la otra. Este fue el verdadero nacimiento de la «fotometría estelar», y por primera vez las magnitudes pudieron ser medidas con instrumentos objetivos en vez de apreciaciones hechas a ojo.

Una vez descubierto esto, fue importante determinar la significación de la magnitud. ¿Cómo cambia el brillo cuando uno asciende o desciende por la escala de magnitud?

A ojo, parece que el cambio de brillo de una magnitud a la otra es el mismo. Uno va de la primera a la sexta magnitud en pasos iguales.

¿Pero estos pasos pueden ser representados como si uno ascendiera por la escala numérica 1, 2, 3, 4, 5, 6? ¿La sexta magnitud equivalía al 1, la quinta al 2, la cuarta al 3 y así sucesivamente? ¿Una diferencia de una magnitud equivalía a una duplicación del brillo, una diferencia de dos a una triplicación, una diferencia de tres a una cuadruplicación, y así sucesivamente? En ese caso, el brillo aumentaría en igual medida con cada cambio de magnitud y tendríamos una «progresión aritmética».

Steinheil no pensaba que fuera así. Pensaba que la progresión era por proporciones iguales. En otras palabras, si la estrella de sexta magnitud equivalía al 1 y la de quinta magnitud al 2, la de cuarta magnitud equivaldría al 4, la de tercera al 8, la de segunda a 16 y la de primera a 32. Esto es una «progresión geométrica».

Steinheil tenía razón, y con el paso del tiempo los fisiólogos demostraron que en general los sentidos humanos trabajan en progresión geométrica. Lo pueden comprobar por sí solos si tienen una lámpara luminosa de tres niveles, 50, 100 y 150 vatios. Pasen de 50 a 100 vatios y notarán un aumento notorio del brillo. Pasen a 150 vatios y el aumento de brillo parecerá menor aunque haya habido otro aumento de 50 vatios. El sentido visual detecta un aumento del 100 por ciento en el primer paso y un aumento de sólo un 50 por ciento en el segundo.

Análogamente, se puede diferenciar fácilmente un peso de 1 libra de un peso de 2 libras de las mismas dimensiones al alzarlos. No es fácil distinguir entre un peso de 30 libras y un peso de 31 libras de la misma manera, aunque la diferencia sigue siendo de una libra. En el

primer caso se está detectando una diferencia del 100 por ciento: en el segundo no se alcanza a detectar una diferencia del 3 por ciento.

Desde luego, sería excesivo esperar que un sistema de magnitudes escogidas a ojo por Hiparco dividiera las estrellas en grupos en que cada cual duplicara el brillo del precedente. La proporción sería con toda seguridad de valores menos apropiados.

En 1856 el astrónomo inglés Norman Robert Pogson señaló que una estrella media de primera magnitud tiene aproximadamente un centenar de veces el brillo de una estrella media de sexta magnitud, juzgándola fotométricamente. Para lograr que los cinco intervalos entre las magnitudes den por resultado 100, tenemos que utilizar como valor para cada uno de los intervalos la raíz quinta de 100, lo que nos da cerca de 2,512 (En otras palabras, 2,512 x 2,512 x 2.512 x 2.512 x 2,512 da aproximadamente 100).

Por lo tanto, si se elige una magnitud de 1,0 de tal modo que algunas de las estrellas de primera magnitud tradicionales sean más brillantes y algunas más opacas que ese valor, se puede proceder a la busca de un resultado con proporciones de 2,512.

Con el perfeccionamiento de los fotómetros, los astrónomos pudieron determinar las magnitudes hasta un decimal, y ocasionalmente aun hasta el segundo decimal. La más brillante de dos estrellas separadas por un décimo de magnitud es aproximadamente 1,1 veces más brillante que la más opaca. La más brillante de dos estrellas separadas por un centésimo de magnitud es aproximadamente 1,01 veces más brillante que la más opaca.

Utilizando el nuevo sistema, ya no tenemos que conformarnos con decir que Pólux y Fomalhaut son ambas estrellas de primera magnitud. Podemos decir en cambio que Pólux tiene una magnitud de 1,16 y Fomalhaut una magnitud de 1,19. Esto significa que Pólux, la de número más bajo, es más brillante que Fomalhaut por 0,03 magnitudes.

Puede decirse que cualquier estrella con una magnitud entre 1,5 y 2,5 es una estrella de segunda magnitud. Descendiendo a partir de esa norma, cualquier estrella con una magnitud entre 2,5 y 3,5 sería una estrella de tercera magnitud, y así sucesivamente. Las estrellas con una magnitud entre 5,5 y 6,5 serían estrellas de sexta magnitud y pertenecerían a la clase originalmente definida como la de las estrellas más opacas que podían verse.

Sin embargo, en la época en que Pogson elaboró esta escala de magnitudes las estrellas de sexta magnitud no eran de ningún modo las más opacas que podían verse.

El telescopio reveló estrellas mucho más opacas y los sucesivos perfeccionamientos del instrumento revelaron otras que lo eran aun más.

Eso no importaba, pese a todo. Valiéndonos siempre de la proporción 2,512 podemos tener estrellas de séptima, octava, novena y más magnitudes, midiendo cada una con un valor tan aproximado como lo permitan nuestros instrumentos.

Los mejores telescopios contemporáneos revelarán estrellas por cuya opacidad las clasificamos como de vigésima magnitud, si aplicamos el ojo al ocular. Si en cambio aplicamos una placa fotográfica y dejamos que se acumule la luz enfocada, podemos detectar estrellas de hasta vigesimocuarta magnitud.

Realmente no está mal, pues un objeto de vigesimocuarta magnitud es dieciocho magnitudes más opaco que el objeto más opaco que podemos ver sin ayuda de instrumental. Según nuestra escala geométrica, esto significa que la estrella más opaca que podían ver los antiguos es unos 16.000.000 de veces tan brillante como la estrella más opaca que podemos ver nosotros.

Hace unos párrafos comenzamos por la segunda magnitud e iniciamos el descenso por la escala. Empecemos nuevamente allí y ascendamos por la escala. Si las estrellas con magnitudes de 1,5 a 2,5 son de segunda magnitud, las estrellas con magnitudes de 0,5 a 1,5 son de primera magnitud.

Pero hay no menos de ocho estrellas con magnitudes inferiores a 0,5. ¿Qué son en cuanto a la magnitud?

Algunas estrellas tienen un brillo que supera aun al que representaría una magnitud de 0,0 y sus magnitudes deben expresarse en números negativos. ¿Podemos hablar de la «magnitud

cero» y definirla como la que abarca magnitudes del –0,5 al 0.5? Hay seis estrellas de magnitud cero, que van de Proción (0,38 de magnitud) a Alfa del Centauro (–0,27 de magnitud).

Hay dos estrellas con magnitudes aun inferiores a 0,5 y que por lo tanto son de «primera magnitud negativa». Son Canopo (–0,72 de magnitud) y Sirio (–1,42 de magnitud).

Sin embargo, los astrónomos no pueden ir tan lejos en la ruptura de una tradición. Pueden ir más allá de la sexta magnitud de Hiparco pero no de la primera magnitud. Las estrellas con magnitudes inferiores a 0,5, aun Sirio, todavía se consideran estrellas de primera magnitud.

Esto significa que la estrella más brillante de la primera magnitud tradicional, Sirio, es en verdad tres magnitudes más brillante que la estrella más opaca de la primera magnitud tradicional, Cástor, cuya magnitud de 1,58 en realidad la pone al borde de la segunda magnitud. Sirio es unas dieciséis veces más brillante que Cástor y unos 15.000.000.000 de veces más brillante que la estrella más tenue que pueden revelamos nuestros telescopios.

¿Hay en el cielo objetos más brillantes que Sirio?

¡Claro que sí! Hiparco limitó su clasificación por magnitudes a las estrellas, pero ahora que esas magnitudes han sido reducidas a números y proporciones los astrónomos pueden continuar por la escala de números negativos y ascender por el nivel de brillo todo lo que deseen.

Así, cuando el planeta Júpiter está en su punto más brillante, alcanza una magnitud de –2,5. Ningún astrónomo lo denomina un cuerpo de «segunda magnitud negativa», ni lo clasifica dentro de ninguna otra magnitud, pero se puede dar el número. Luego, Marte puede alcanzar una magnitud de –2,8, mientras Venus, la gema más brillante del cielo, puede alcanzar una magnitud de –4,3. En el punto más brillante, Venus es unas quince veces más brillante que Sirio.

Pero esa no es la cúspide. La Luna es mucho más brillante que Venus, y en Luna llena alcanza una magnitud total de –12,6. Eso significa que la Luna llena alcanza un brillo que equivale a dos mil veces el de Venus.

Nos queda el Sol, cuya magnitud es –26,91. El Sol tiene pues un brillo que equivale 525.000 veces al de la Luna llena, 1.000.000.000 al de Venus, 15.000.000.000 al de Sirio, y 250.000.000.000.000.000.000 al del objeto más opaco que puede mostramos el telescopio.

Y como en el cielo no se puede ver nada más brillante que el Sol y nada más opaco que la estrella más opaca que pueden mostramos los telescopios actuales, hemos llegado al límite en ambas direcciones, tras atravesar una gama de cincuenta y una magnitudes.

Pero, como dije al principio del artículo, las cosas no siempre son lo que parecen.

Todas estas magnitudes que acabo de mencionar son *aparentes*. El brillo de un objeto no depende sólo de la cantidad de luz que irradia sino también de su distancia respecto de nosotros. Un objeto cuyo brillo es escasísimo en términos absolutos, como una lámpara de 100 vatios, puede ser colocada a nuestras espaldas y resultamos mucho más brillante que la Luna. Por otra parte, una estrella que irradia mucha más luz que el Sol puede estar tan lejos que ni siquiera el telescopio nos la muestra.

Para determinar, pues, los niveles de brillo *real*, para medir la luz que un objeto emite realmente —su «luminosidad»—, tenemos que imaginar que todos los objetos en cuestión están a cierta distancia fija de nosotros. La distancia fija ha sido determinada (arbitrariamente) en 10 pársec (32,6 años-luz).

Una vez conocida la distancia de cualquier objeto luminoso y medido su brillo a esa distancia, podemos calcular cuál sería su brillo a cualquier otra distancia. La magnitud que un objeto tendría a 10 pársec es su «magnitud absoluta».

Nuestro Sol, por ejemplo está a unos 150.000.000 de kilómetros de nosotros, o sea, 1/200.000 de pársec. Imaginémoslo a 10 pársec y habremos aumentado 2.000.000 de veces la distancia. Su brillo aparente decrece multiplicado por el cuadrado de ese número, o sea, 4.000.000.000.000 de veces. Eso significa que su brillo decrece alrededor de treinta y una magnitudes. Su magnitud absoluta es aproximadamente 4,7.

El Sol sería visible a una distancia de 10 pársec, pero brillaría como una estrella muy pálida y poco especial.

¿Qué podemos decir de Sirio? Está a 2,65 pársec de distancia. Si la imaginamos a 10 pársec, su brillo decaería en unas tres magnitudes, y su magnitud absoluta sería 1,3. Ya no sería la estrella más brillante del cielo, pero seguiría siendo una estrella de primera magnitud.

Las magnitudes absolutas, que eliminan el factor de la diferencia en distancia, nos muestran que el brillo de Sirio equivale a unas veintitrés veces el del Sol, es decir, que emite veintitrés veces más luz.

Sirio, sin embargo, está lejos de la estrella más luminosa que existe. Hay estrellas mucho más brillantes. De todas las estrellas de primera magnitud, la más distante es Rigel, a 165 pársec. Es sólo la séptima estrella en el cielo por su brillo, que equivale a sólo un cuarto del brillo de Sirio. Sin embargo, Rigel está seis veces más lejos de nosotros que Sirio. Para ofrecer un espectáculo tan respetable desde esa distancia, Rigel tiene que ser muy luminosa.

Y por cierto lo es. La magnitud absoluta de Rigel es –6.2. Ubiquémosla a 10 pársec y aun a esa distancia, que cuadruplicaría la distancia real de Sirio, no sólo brillaría más que ésta sino seis veces más que Venus. De hecho, Rigel es mil veces tan luminosa como Sirio y 23.000 veces tan luminosa como el Sol.

Pero tampoco Rigel bate el *record*. Es la estrella más luminosa que conocemos en nuestra Galaxia, pero hay otras galaxias. La Gran Nube Magallánica es una especie de Galaxia Satélite de la nuestra, y allí hay una estrella llamada «S Doradus». Es demasiado opaca para verla con telescopio, pero se encuentra a unos 45.000 pársec y los astrónomos se asombraron de que fuera tan brillante, considerando la distancia. Resultó tener una magnitud absoluta de –9,5, o sea, que su brillo equivale veintiuna veces al de Rigel y casi medio millón de veces al de nuestro Sol.

Si S Doradus estuviera en el lugar de nuestro Sol, un planeta que girara en órbita alrededor de ella a una distancia igual a diecisiete veces la distancia de Plutón la vería brillar tan luminosamente como nosotros vemos brillar nuestro Sol.

S Doradus es la estrella más luminosa y estable que conocemos; irradia más luz día a día y siglo a siglo que cualquier otra. Sin embargo, no todas las estrellas son estables. Ocasionalmente las estrellas estallan transformándose en «novas» y adquieren una súbita, aunque temporaria, luminosidad.

La magnitud del brillo depende del tamaño de la estrella. Cuanto más grande sea más enorme será la explosión. La explosión de una «supernova», algo realmente magnífico, puede llevar a una estrella de gran tamaño a una magnitud de –19, aunque muy fugazmente.

Durante un tiempo breve, esa supernova brillará con una luminosidad equivalente a 6.000 veces la de S Doradus y unos 10.000.000.000 de veces la de nuestro Sol. Aun a una distancia de 10 pársec brillará con un fulgor equivalente a 360 veces el de la Luna llena, aunque a sólo un milésimo del de nuestro Sol.

¿Tenemos ya un *record* de luminosidad?

Tal vez no. Una supernova es apenas una estrella sola. ¿No podríamos considerar la luminosidad de un grupo de estrellas?

Un par de estrellas razonablemente cercanas entre sí se ve a la distancia como una sola estrella. Si ambas son de igual brillo, la combinación supera en 0,75 magnitudes a cada estrella por separado.

Las estrellas dobles son muy comunes, y tampoco son raros los sistemas estelares triples y cuádruples. De hecho, las estrellas también se presentan en grandes racimos. Hay unos 125 «racimos globulares» conocidos relacionados con nuestra Galaxia, y cada cual contiene de diez mil a varios cientos de miles de estrellas densamente apiñadas en comparación con nuestras propias vecindades estelares.

Supongamos, pues, que consideramos un racimo globular compuesto de un millón de estrellas. Podríamos calcular su magnitud absoluta en –10,3. Un racimo tan enorme tendría, sin embargo, sólo el doble de luminosidad de S Doradus, que es una estrella sola. Una supernova gigante puede alcanzar una luminosidad 3.000 veces superior a la de un gran racimo globular. Un racimo globular, pues, no puede batir un *record* de luminosidad.

Toda galaxia, sin embargo, tiene en el núcleo el equivalente de un racimo globular de enorme tamaño. El centro de nuestra propia Galaxia es un racimo globular densamente poblado compuesto de 100.000.000.000 de estrellas. Su magnitud absoluta puede ser calculada en –22,8

(El resto de la Galaxia, al margen del núcleo, tiene las estrellas relativamente dispersas, y si se incluye su luminosidad el valor total puede alcanzar –22,9).

Ese sí parece un nuevo *record*. El núcleo galáctico brilla con una luminosidad que triplica la de una supernova en su momento culminante (Aun así no hay una gran diferencia en luminosidad, y cuando una supernova gigante centellea en una galaxia determinada es muy probable que irradie tanta luz, en su momento culminante, como la suma de todo el resto de la galaxia).

Desde luego, nuestra Galaxia no es la más grande que existe. Una galaxia grande puede decuplicar fácilmente el tamaño de la nuestra y alcanzar una magnitud absoluta de –25.

El cálculo de las magnitudes absolutas de racimos globulares y galaxias presenta, sin embargo, un inconveniente pues se trata de cuerpos extensos. Un gran racimo globular puede alcanzar hasta 100 pársec de longitud, y un núcleo galáctico hasta 5.000 pársec de longitud. La magnitud absoluta puede calcularse, pero no puede experimentarse de manera ordinaria.

Si imaginamos que el punto central de un racimo globular o un núcleo galáctico está a 10 pársec de distancia, nosotros estaríamos *dentro* del objeto. Veríamos estrellas todo alrededor y no tendríamos la sensación de una luminosidad combinada, tal como no la tenemos ahora en nuestra propia Galaxia.

Claro que podríamos adoptar 1.000.000 de pársec como a distancia convencional para medir la luminosidad, y entonces veríamos que una galaxia grande supera en brillo a cualquier estrella individual en cualquier circunstancia. Pero en tal caso todos los objetos vistos a esa distancia parecerían muy opacos y poco llamativos.

Si queremos buscar un *record* más allá de una supernova, tenemos que preguntar si hay algo que tendría el aspecto de un solo objeto de tamaño razonablemente pequeño a una distancia de 10 pársec, y que, sin embargo, superaría en brillo constante a una supernova.

Esa sí es una respuesta. Lo que llamamos «cuasares» (fuentes *cua*siestel*ares* de ondas radiales) son aparentemente núcleos galácticos tan condensados y brillantes que se pueden ver (telescópicamente) a una distancia de cientos de millones de pársec. Ningún otro objeto se puede ver a semejantes distancias. Se calcula que un cuasar típico tiene tal vez sólo medio pársec de diámetro, y, sin embargo, brilla con la luminosidad de cien galaxias del tamaño de la nuestra.

Medio pársec es un diámetro respetable; equivale a 12.000.000 de veces el diámetro de nuestro Sol, y a más de 1.000 veces el diámetro de la órbita de Plutón. Ubiquemos un cuasar a una distancia de 10 pársec y su diámetro aparente será de casi 3 grados, lo que equivale a seis veces el diámetro de nuestro Sol o de la Luna llena, pero aun así lo veríamos como un solo objeto llameante.

El cuasar medio tendrá pues una magnitud absoluta de –28. Brillará, aun a 10 pársec de distancia, con un brillo que duplicará al de nuestro Sol en el cielo, pese a que el cuasar está 2.000.000 de veces más lejos.

Queda por preguntarse cuál sería el cuasar más brillante. Todos los cuasares tienden a variar la luminosidad de vez en cuando. En nuestros telescopios aparecen como estrellas ordinarias, muy opacas (a causa de la gran distancia), y durante muchos años se los fotografió sin que se supiera que eran algo especial (El descubrimiento se realizó gracias a la intensidad de las ondas de radio que emiten). Si los astrónomos revisan los datos registrados, pueden toparse con asombrosos picos de luminosidad.

En 1975 dos astrónomos de Harvard, Lola J. Eachus y William Liller, rastrearon el cuasar 3C279. Normalmente brilla con una magnitud aparente de 18, pero en 1937 alcanzó fugazmente una magnitud aparente de 11.

Un brillo de undécima magnitud a una distancia de 2.000.000.000 de pársec es casi increíble. En su momento culminante, 3C279 brillaba con la luz de diez mil galaxias ordinarias, y Eachus y Liller calcularon que su magnitud absoluta alcanzó un pico de –31.

Imaginemos a 3C279 a una distancia de 10 pársec de nosotros y brillaría con una luminosidad equivalente a cuarenta veces la del Sol tal como lo vemos ahora.

Un cuasar como 3C279 puede alcanzar una luminosidad pico, pues, equivalente a 100.000.000.000.000 de veces la de nuestro Sol, 500.000.000 de veces la de S Doradus, más de

60.000 veces la de una gran supernova en su momento culminante, y 1.000 veces la de nuestra galaxia entera tomada como una unidad.

Y ése es el *record*, por lo que hasta ahora sabemos.

14

LA COMPAÑERA OSCURA

Las situaciones embarazosas suelen presentárseme como a cualquier otro, y no siempre las eludo.

Aunque tengo fama de científico riguroso, poco propenso a aceptar supercherías (ver capítulo 17), doy la bienvenida a las ideas nuevas cuando las propone gente que sabe de qué está hablando y respeta la racionalidad... lo que hace de mí un candidato potencial para los enredos.

Primero, un par de casos donde no hubo enredo.

En 1974 los editores Walker & Co. publicaron un libro de John Gribbin y Stephen Plagemann llamado **«The Jupiter Effect»**. Trataba del posible efecto de la posición planetaria sobre las mareas solares, luego en el viento solar, luego en la deriva de los continentes, luego en los terremotos de California. Eran razonamientos no muy firmes que llegaban a una conclusión muy vaga, pero me pareció el trabajo de hombres honestos y lógicos, de modo que cuando me pidieron que escribiera una introducción al libro accedí. Eventualmente mi nombre figuró en la cubierta del volumen en caracteres tan prominentes como el de los autores.

El libro fue mal recibido por muchos reseñadores, como yo había previsto, y mi buen amigo Lester del Rey nunca se cansa de llamarme «astrólogo» a causa de la introducción, pero yo sigo en mis trece. El libro merecía tenerse en cuenta y no me avergüenza que me relacionen con él.

Luego, en 1976 Doubleday publicó **«The Fire Came By»**, de John Baxter y Thomas Atkins. Era un estudio en profundidad de la gran explosión siberiana de 1908, que durante mucho tiempo se había considerado causada por un meteorito. Los autores toman en cuenta toda la evidencia que pudieron reunir y discuten todas las explicaciones que se han propuesto después que quedó en claro que no había rastros de ningún cráter o fragmentos meteóricos. Finalizan el estudio sugiriendo que la explosión fue causada por una nave extraterrestre de propulsión nuclear que quedó fuera de control y se estrelló en la Tierra.

Larry Ashmead, que entonces trabajaba en Doubleday, me pidió que le echara una ojeada al manuscrito en vistas a un comentario favorable, pero lo hizo con reticencia, pues supuso que en cuanto yo lo hubiera leído lo rompería.

No lo rompí. El libro me pareció fascinante y honesto, y en mi opinión valía la pena leerlo[44]. Solicité a Doubleday escribir una introducción, y cuando la editorial accedió la escribí. Mi nombre figura en la cubierta del libro con caracteres casi tan grandes como el de los autores, y aunque pienso que pocos astrónomos tomarán el libro seriamente, de nuevo seguiré en mis trece. Tampoco estoy avergonzado de que me relacionen con este libro. Y ahora a la situación embarazosa...

Acababa de publicarse un libro llamado **«The Sirius Mystery»**[45]. Trata de una tribu del oeste de África cuyas tradiciones parecen incluir conocimientos de los satélites de Júpiter, los anillos de Saturno y la enana blanca compañera de Sirio, conocimientos que parecen atribuir a viajeros de un planeta en órbita alrededor de Sirio.

Mientras el libro era todavía un manuscrito, el autor se puso en contacto conmigo, me describió la tesis del libro y me pidió que lo leyera para poder hacerle algún comentario favorable. Accedí a regañadientes a que me enviara el manuscrito. Después de todo, no tengo por qué negarme a *mirar* lo que alguien tiene que decir.

---

[44] Mi amigo James Oberg, quien ha estudiado el problema minuciosamente, piensa que mi opinión es excesivamente generosa, y quizá esté en lo cierto.

[45] Como mi opinión no es nada favorable, no mencionaré al autor ni al editor.

El manuscrito llegó y traté de leerlo. Detesto ser antipático e insultante, pues en su contacto conmigo el autor me había parecido un hombre grato y sincero, pero lo cierto es que el libro me pareció ilegible, y lo que atiné a digerir me pareció inconvincente.

Por lo tanto, me negué a hacer ningún comentario.

El autor me llamó tiempo después y en cierto modo me presionó para que reconsiderara el asunto. Me cuesta ser rudo, pero me las arreglé para seguir rehusándome.

Luego me preguntó si había detectado algún error.

Claro que no. Había leído apenas una parte del libro, una parte en que él hablaba de esa tribu del oeste de África, sobre la cual yo no sabía nada. Pudo haber dicho cualquier barbaridad sin que yo localizara ningún error definido. Así que para librarme de él y ser amable respondí que no había detectado errores.

Tuve mi merecido. Eso fue lo que dije, y no especifiqué que no quería que me citaran, de modo que cuando el libró se publicó y aparecieron anuncios en los diarios, allí figuraba yo, diciéndole al mundo que no había errores en el libro.

Me avergüenza mi estupidez, pero les aseguro que nunca caeré de nuevo en la misma trampa.

Buscaré un poco de consuelo contándoles la historia del descubrimiento de la enana blanca compañera de Sirio por los astrónomos modernos, quienes lo hicieron sin la colaboración de visitantes extraterrestres[46]. Es un drama en tres actos.

Acto 1. *Friedrich Wilhelm Bessel - 1844*

Friedrich Wilhelm Bessel nació en Minden, Prusia, el 22 de julio de 1784. Primero se ganaba la vida como contador, pero estudió astronomía por su cuenta y a los veinte años volvió a calcular la órbita del cometa Halley con tanta elegancia que el astrónomo alemán Heinrich W. M. Olbers se impresionó lo bastante para conseguirle un puesto en un observatorio.

En la década de 1830 Bessel estaba embarcado en la gran aventura astronómica del momento, la tentativa de determinar la distancia entre el Sol y alguna estrella. Para realizar la tarea, los astrónomos tenían que escoger una estrella relativamente cercana a la Tierra y fijarse en la variación constante y elíptica de su posición (paralaje) respecto de las más alejadas, mientras la Tierra giraba en su órbita. ¿Pero cómo escoger una estrella cercana cuando no se sabía de antemano cuáles estaban cerca y cuáles estaban lejos?

Había que averiguarlo, y había dos pistas posibles. Primero, una estrella brillante tenía más probabilidades de estar cerca que una opaca, pues la proximidad podía ser la causa de la luminosidad. Segundo, una estrella que cambiaba de posición (movimiento propio) considerablemente de un año al otro con respecto a las otras estrellas probablemente estuviera más cerca que una que cambiaba poco o nada, pues la proximidad tendía a magnificar la extensión del cambio.

Otros dos investigadores, el astrónomo escocés Thomas Henderson y el ruso-alemán Friedrich G. W. von Struve, optaron por la luminosidad. Henderson, en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, eligió Alfa del Centauro, la más brillante de las estrellas meridionales. Von Struve eligió Vega, la más brillante de las estrellas septentrionales.

Bessel optó por la rapidez del movimiento y eligió 61 Cygni, una estrella más bien opaca (quinta magnitud) pero que tenía el movimiento propio más acelerado conocido en la época.

Los tres tuvieron éxito, pero Bessel anunció primero sus resultados, en 1838, y hoy se lo recuerda como el primero que determinó la distancia hasta una estrella.

Tras haber obtenido la victoria, Bessel estaba dispuesto a determinar otras distancias, y eventualmente eligió Sirio. Sirio es la más brillante de todas las estrellas y por lo tanto era muy posible que fuera vecina nuestra (Lo es. Su distancia equivale a sólo dos quintos de la de 61 Cygni). Además, tiene un movimiento propio bastante acelerado.

[46] Dediqué unas páginas al asunto en *«Twinkle, Twinkle, Little Star»*, en **«Adding a Dimension»** (Doubleday, 1964), pero eso fue hace catorce años y esta vez lo trataré más detalladamente, y en una dirección diferente.

Determinar el paralaje de una estrella no es fácil, sin embargo. Si una estrella fuera absolutamente inmóvil, y si el movimiento de la Tierra fuera absolutamente regular, y si la velocidad de la luz fuera infinita y no hubiera atmósfera, lo sería, pero lamentablemente las cosas no son así.

Una estrella tiene paralaje y describe una elipse, pero, además tiene un movimiento propio en línea recta. La combinación del movimiento propio rectilíneo y el paralaje elíptico produce un movimiento ondulante, que se complica aun más por la refracción atmosférica, la aberración lumínica, las diversas oscilaciones del movimiento terrestre, etcétera. Cada posible interferencia tiene que tomarse en cuenta y ser sustraída, y finalmente, cuando se han acabado las sustracciones, lo que queda es el paralaje. Desde luego, como cada sustracción tiene sus errores el paralaje que nos queda puede ser bastante impreciso.

Bessel se puso a trabajar con Sirio, observándola noche tras noche, cotejando todos los datos anteriores. Tuvo en cuenta los factores menores, sustrajo el movimiento propio, y obtuvo una elipse... pero no era la elipse del paralaje.

La elipse trazada por el paralaje de una estrella tiene que completar la vuelta en un año, pues el paralaje refleja la vuelta anual de la Tierra alrededor del Sol. Esto no ocurría con el caso de Sirio.

Bessel comprobó sin dificultad que la elipse resultante tardaba mucho más de un año en completarse. De hecho, a la velocidad con que Sirio describía la elipse tardaría cincuenta años en completarla. De modo que éste no era el paralaje. Era otra cosa.

Había otra cosa que podía hacer que una estrella trazara una elipse tan prolongada. La estrella podía ser binaria; podía ser una de dos que giraban en órbitas recíprocas, pivoteando sobre el centro de gravedad del sistema. William Herschel (ver capítulo 10) había descubierto las estrellas binarias en 1784, y de ninguna manera eran infrecuentes.

¿Por qué Sirio no podía ser pues parte de un sistema binario? Simplemente giraba alrededor de un centro de gravedad, con otra estrella en el lado opuesto.

Era una buena solución, pero había un contratiempo. Bessel no podía ver la otra estrella. Sabía exactamente dónde tenía que estar, gracias al movimiento de Sirio y la Ley de Gravedad, pero no estaba allí.

¿La otra estrella sería un planeta? Era imposible ver planetas a esa distancia (Desde Sirio se podía ver nuestro Sol, pero no Júpiter).

No podía ser un planeta. La única razón por la que no se pueden ver planetas es porque son demasiado pequeños para brillar como estrellas; y si son demasiado pequeños para eso, también lo son para tener un campo gravitacional tan poderoso para influir sobre Sirio de esa manera. El otro miembro del sistema tenía que ser una estrella. Pero aun así no podía vérselo.

En tiempos de Bessel esto no resultaba tan increíble. En esa época ciertas nociones de la Ley de Conservación de la Energía estaban en el aire y parecía razonable asumir que una estrella disponía de sólo una cantidad finita de energía. En tal caso, una estrella podía extinguirse como una vela. Le tomaría más tiempo, pero el principio era el mismo. Pues bien, Sirio estaba acompañada por una estrella que se había consumido y por esa razón no se la podía ver.

En 1844 Bessel anunció su descubrimiento de que Sirio tenía una compañera oscura (Más tarde descubrió que la brillante estrella Proción también tenía una compañera oscura).

Bessel murió en Königsberg, Prusia, el 17 de marzo de 1846, y no vivió para presenciar el acto II del drama.

Acto II. *Alvan Graham Clark - 1862*

Alvan Graham Clark nació en Fall River, Massachusetts, el 10 de julio de 1832. Su padre, Alvan Clark, era un pintor de retratos fascinado por la astronomía y aficionado a la fabricación de lentes (Personalmente, yo no comprendo el éxtasis de pulir lentes, pero la historia de la astronomía está llena de gentes peculiares que preferían pulir lentes a comer).

A principios del siglo diecinueve, sin embargo, todos los fabricantes de lentes eran británicos, franceses o alemanes, y ningún astrónomo europeo que se respetara podía siquiera concebir que un norteamericano realizara algo útil en ese sentido. Clark padre dejó que su trabajo hablara por sí mismo. Fabricó lentes, las colocó en telescopios que él mismo utilizó para

hacer excelentes observaciones sobre las que luego informó. Los astrónomos europeos, curiosos de saber qué instrumental había empleado Clark, se enteraron de que él mismo había fabricado las lentes y reconsideraron sus opiniones.

En 1859 Clark era una celebridad. Fue invitado a Londres, donde los más grandes astrónomos británicos estuvieron complacidos de conocerlo. Regresó a Estados Unidos y fundó una fábrica de telescopios en Cambridge, Massachusetts. Su hijo menor, Alvan Graham Clark, trabajaba con él.

En 1860 el Rector de la *Universidad de Mississippi* quiso un buen telescopio que colocara a la institución dentro del mapa astronómico. Como había nacido en Massachusetts, pensó en los Clark y les hizo el pedido a ellos. Los Clark pusieron manos a la obra (Lamentablemente, el telescopio jamás llegó a Mississippi. Al año ya había estallado la Guerra Civil y Mississippi era territorio enemigo. El telescopio, cuando se terminó, fue en cambio a la *Universidad de Chicago*).

En 1862 Alvan Graham Clark tenía una lente pulida a la perfección, que lucía hermosa. El paso siguiente era ponerla a prueba en la práctica.

Clark colocó la lente en un telescopio, la apuntó a Sirio y le echó un buen vistazo. Si la lente era perfecta, vería a Sirio como un punto claro, brilloso y nítido (que tal vez titilaría si la visión no era muy buena). Por otra parte, una diminuta irregularidad en la lente desleiría o distorsionaría el punto.

Clark miró y lamentó descubrir una diminuta chispa luminosa en la vecindad de Sirio, donde no tenía que haber ninguna chispa luminosa. La conclusión inmediata fue que una irregularidad en la lente reflejaba una diminuta mota de luz de Sirio.

Sin embargo, cuando Clark observaba otras zonas del cielo no había problemas aparentes, y por mucho que trabajó perfeccionando la forma de la lente, la chispa luminosa cercana a Sirio no desaparecía. Finalmente decidió que veía la chispa porque existía. Allí había algo. La chispa luminosa estaba en la posición que correspondía a la compañera oscura de Sirio, y eso era lo que veía.

La Compañera en realidad no era muy opaca, pues tenía una magnitud de 7,1 casi suficiente para percibirla a simple vista. Sin embargo, estaba demasiado cerca de Sirio, que era unas 6.000 veces más brillante y la opacaba. Hacía falta una buena lente para distinguir esa chispa opaca frente al resplandor contiguo, de modo que el problema de la lente de Clark no era su imperfección sino su excelencia.

Ya no podía hablarse de la compañera oscura de Sirio. Ahora era una compañera opaca. Eso no cambiaba demasiado la situación, pese a todo. Si la compañera no era exactamente una ceniza muerta, era aparentemente una estrella moribunda lanzando sus últimos destellos.

Alvan Graham Clark murió en Cambridge el 9 de junio de 1897, y no vivió para presenciar el acto III del drama.

ACTO III. *Walter Sydney Adams - 1915, 1922*

Walter Sydney Adams era hijo de una pareja de misioneros norteamericanos que trabajaban en Medio Oriente. Nació en Antioquía, Siria (entonces parte de Turquía), el 20 de diciembre de 1876, y no fue traído a los Estados Unidos hasta los nueve años. Después de graduarse en *Dartmouth College* en 1898 y seguir cursos en Alemania, se hizo astrónomo.

En esa época, el uso del espectroscopio había revolucionado la astronomía. Los astrónomos ya no tenían que limitarse a tener en cuenta el brillo y el color general de la luz de una estrella. La luz podía difundirse en un espectro entrecruzado de líneas oscuras. Según las posiciones y diseños de esas líneas, se podían determinar los elementos químicos presentes en la estrella. Los ligeros cambios de posición comparados con las líneas producidas por el mismo elemento en el laboratorio permitían deducir si la estrella se acercaba o retrocedía, y a qué velocidad.

En 1893 el físico alemán Wilhelm Wien había mostrado cómo los espectros variaban con la temperatura. Ahora era posible estudiar el espectro producido por una estrella y determinar la temperatura de la superficie. Por ejemplo, nuestro Sol tiene una temperatura de 6.000 grados centígrados en la superficie, pero Sirio es una estrella mucho más caliente y en la superficie tiene una temperatura de 11.000 grados centígrados.

Era obvio que las estrellas diferían en color porque el diseño de las longitudes de onda que emitían variaba con la temperatura. Fuera cual fuese la estructura o composición de una estrella, si la temperatura de superficie era de 2.500 grados centígrados era roja; si era de 4.500 grados centígrados era naranja; si era de 6.000 grados centígrados era blanco amarillento; si era de 11.000 grados centígrados, era puramente blanca; si era de 25.000 grados centígrados, era blanco azulada.

Para Adams esto suscitaba un problema interesante. La compañera de Sirio se conocía desde hacía setenta años y siempre había sido considerada una estrella muerta o moribunda. Pero si la compañera agonizaba y estaba a punto de extinguirse tenía que ser fría y por lo tanto roja. El problema consistía en que no era roja sino blanca. Por lo tanto tenía que ser caliente, y en ese caso era difícil considerarla moribunda.

Para llegar a una conclusión segura hacía falta el espectro de la compañera. Obtener el espectro de una estrella de séptima magnitud en las mismas fauces de una estrella vecina con una magnitud de –1,42 no era nada sencillo, pero en 1915 Adams lo logró.

El espectro disipó todas las dudas. La compañera era casi tan caliente como Sirio. La superficie tenía una temperatura de unos 10.000 grados centígrados, de modo que era mucho más elevada aun que la de nuestro Sol.

Pero eso suscitaba otro problema. Si la compañera tenía casi la misma temperatura de Sirio, cualquier sector dado de la superficie tenía que ser casi tan brillante como un sector equivalente de Sirio. ¿Entonces por qué el brillo de la Compañera equivalía a sólo 1/6.000 del de Sirio?

La única respuesta razonable era que aunque cada sector de la superficie de la compañera fuera casi tan brillante como la superficie de Sirio, la superficie total de la Compañera era muy, *muy* inferior.

De hecho, si sabemos cuánto debe brillar un sector de la superficie de una estrella gracias a la temperatura, es posible calcular la superficie necesaria para ese brillo aparente, y así a su vez podemos calcular el diámetro de la estrella. El diámetro de Sirio, por ejemplo, es de: 2.500.000 kilómetros, o sea, 1,8 veces el de nuestro Sol, mientras el diámetro de la compañera es de 47.000 kilómetros, o sea, 0,033 veces el de nuestro Sol.

El diámetro de la Compañera fue toda una sorpresa, pues pensar en una estrella tan pequeña parecía ridículo. No sólo era menor que nuestro Sol, sino mucho menor que el planeta Júpiter. Tenía en realidad un tamaño aproximadamente similar al del planeta Urano.

Como la compañera era de color blanco y de tamaño pequeño, la denominaron «enana blanca», y fue la primera de una nueva clase de estrellas que luego resultó ser bastante común. La compañera de Proción, por ejemplo, también resultó una enana blanca.

Sucede que a veces se llama a Sirio la «Estrella del Perro», pues es la estrella más brillante de la constelación de Canis Major, el «Can Mayor». En vista de ello, algunas personas optaron por llamar «El Cachorro» a la compañera enana, una muestra de agudeza que prefiero no comentar. La práctica correcta hoy en día es designar a las estrellas de un sistema múltiple con letras del alfabeto, por orden de luminosidad. Sirio se llama ahora Sirio A y la compañera es Sirio B (En este artículo, sin embargo, las seguiré llamando Sirio y la Compañera).

La pequeñez de la Compañera es bastante peculiar, pero lo más sorprendente del caso es que en otros sentidos la Compañera alcanza cifras regulares. Por la distancia entre Sirio y la Compañera y el período orbital, es posible calcular que la masa total de las dos estrellas equivale a 3,5 veces la del Sol. Por la distancia de cada una respecto del centro de gravedad, se puede deducir que Sirio tiene una masa equivalente a 2,5 veces la del Sol y la Compañera una masa similar a la del Sol.

Pero si la compañera tiene la masa del Sol comprimida en una esfera con un tercio de ese diámetro (y por lo tanto con 1/9.000 del volumen), la densidad media de la materia de la Compañera debe equivaler a 9.000 veces la del Sol, o sea, 12.600 gramos por centímetro cúbico, o sea, unas 575 veces la densidad del platino.

Si Adams hubiera anunciado sus hallazgos apenas cinco años antes, nadie les habría prestado atención. Semejante cifra de densidad habría parecido tan ridícula que todo el sistema de medición térmica por espectroscopia habría sido cuestionado y tal vez descartado.

Sin embargo, en 1911 el físico neozelandés Ernest Rutherford, de la *Universidad de Cambridge*, había enunciado su teoría del átomo nuclear, basada en sus observaciones del comportamiento de los átomos bombardeados por las radiaciones subatómicas, recientemente

descubiertas, de elementos radiactivos. Era claro que los átomos eran ante todo espacio vacío y que la masa de cada cual estaba casi enteramente concentrada en un núcleo diminuto que sólo abarcaba 1/1.000.000.000.000.000 del espacio total del átomo. Era fácil suponer que la Compañera y todas las enanas blancas estaban compuestas de átomos destruidos, de modo que los núcleos masivos se apretujaban de una manera que les habría resultado imposible si hubieran formado parte de átomos intactos.

En esas circunstancias, la densidad de la Compañera era concebible. Incluso eran posibles densidades mucho mayores.

Luego surgió algo más. Una vez deducida la naturaleza de la Compañera, podía utilizársela para demostrar algo aun más esotérico.

En 1916 Albert Einstein había elaborado su Teoría de la Relatividad General, que imponía la existencia de tres interesantes fenómenos que no tenían cabida en la vieja Teoría Newtoniana de la Gravitación. Sólo uno de ellos había sido observado: el avance anómalo del perihelio de Mercurio[47]. ¿Pero qué ocurría con los otros dos?

El segundo era que la luz seguía una trayectoria curva si rozaba un campo gravitacional. Esta curvatura era muy leve pero tal vez sería detectable utilizando un campo gravitacional tan intenso como el del Sol.

El 29 de mayo de 1919 se produciría un eclipse solar en el instante en que habría más estrellas brillantes en las cercanías del Sol que en cualquier otro momento del año.

La Real Sociedad Astronómica de Londres preparó una expedición para la Isla Príncipe con el objeto de poner a prueba la teoría de Einstein.

La posición de las estrellas cercanas al Sol fue cuidadosamente medida durante el eclipse. Si la luz se curvaba como decía Einstein, cada estrella aparentaría estar un poco más lejos del Sol de lo que correspondía. El alcance de esa variación dependería de la distancia aparente respecto del Sol. Fue una tarea tediosa y difícil y los resultados no fueron transparentes, pero en general parecían sustentar la propuesta de Einstein y de inmediato los astrónomos quedaron satisfechos en ese sentido.

La tercera consecuencia de la relatividad era que la luz, al ascender contra un campo gravitacional, perdería parte de su energía, y esa pérdida se relacionaría definidamente con la intensidad del campo. La pérdida de energía significaría que todas las líneas del espectro luminoso se desplazarían ligeramente hacia el rojo. Sería un «desplazamiento hacia el rojo einsteniano», diferente del más conocido «desplazamiento hacia el rojo *(red shift)* de Doppler-Fízeau», provocado cuando la fuente luminosa se alejaba del observador.

El desplazamiento hacia el rojo einsteniano era difícil de probar. Ni siquiera el campo gravitacional del Sol tenía la intensidad suficiente para producir un desplazamiento hacia el rojo de este tipo lo bastante grande para mensurarlo.

Entonces el astrónomo británico Arthur Stanley Eddington, quien fue uno de los primeros en aceptar sin reservas la teoría de Einstein, tuvo una idea interesante. Si la Compañera de Sirio tenía una masa similar a la del Sol pero sólo 1/30 de su diámetro, la gravedad de la superficie de la Compañera tenía que equivaler a 900 veces la del Sol. Por lo tanto, la Compañera tenía que someter a la luz que irradiaba desde la superficie a una atracción gravitacional 900 veces mayor y tal vez produjera un desplazamiento hacia el rojo einsteniano detectable.

Eddington se comunicó con Walter Adams, pues Adams era el experto mundial en el espectro de la Compañera.

Adams puso manos a la obra. Sirio y su Compañera están alejándose de nosotros y eso produce un desplazamiento hacia el rojo, pero en ambas es similar, de manera que no es un problema. Además, Sirio y su Compañera giraban en órbitas recíprocas, de modo que una podía estar retrocediendo en relación con la otra, pero ése era un movimiento conocido y podía tenerse en cuenta.

Una vez considerados todos los factores, cualquier desplazamiento hacia el rojo residual en el espectro de la Compañera que no estuviera presente en el espectro de Sirio tenía que ser un desplazamiento einsteniano.

Adams realizó sus cálculos escrupulosamente y descubrió que en efecto había un desplazamiento hacia el rojo einsteniano, y más aun, que era exactamente como lo había

[47] Ver «*The Planet That Wasn't*», en el libro del mismo nombre, (Doubleday, 1976).

predicho la teoría de Einstein. Esta era la tercera, y hasta el momento la más inequívoca, demostración de la veracidad de la Teoría de la Relatividad General.

También funcionaba a la inversa. Si suponemos que la Teoría de la Relatividad General es correcta, el hecho de que la Compañera exhiba un desplazamiento hacia el rojo einsteniano demuestra concluyentemente que debe tener una alta gravedad en la superficie y, además, ser mucho más densa que las estrellas y planetas ordinarios.

Desde 1922, pues, nadie ha dudado de las características asombrosas de la Compañera y otras enanas blancas.

Pero desde entonces se descubrieron objetos mucho más sorprendentes que Adams (quien murió en Pasadena, California, el 11 de mayo de 1956) no vivió para ver... Aunque eso es para el capítulo 15.

15

PULSACIONES EN EL CIELO

Cuando releo los ensayos que han aparecido en mis libros y que han sido escritos en los últimos dieciocho años y medio, no me sorprende demasiado encontrar de vez en cuando alguno que el progreso científico ha vuelto anticuado.

Y cuando eso ocurre, supongo que admitirlo tarde o temprano es una deuda de honor, y también encarar de nuevo el asunto con una perspectiva actualizada.

Hace años, por ejemplo, escribí un ensayo sobre las estrellas pigmeas de diversas clases. Lo titulé *«Squ-u-u-ush»*[*], y apareció en mi libro **«From Earth to Heaven»** (Doubleday, 1966).

Allí comentaba, entre otras cosas, las estrellas diminutas denominadas «estrellas neutrónicas». Dije que se especulaba que una de ellas existía en la Nebulosa del Cangrejo, una nube de gas muy activo que por lo que se sabe es el vestigio de una supernova que se vio en la Tierra hace menos de mil años. La Nebulosa del Cangrejo irradiaba rayos X, y es posible que una estrella neutrónica emita rayos X.

Sin embargo, si fuera una estrella neutrónica los rayos X brotarían de un punto focalizado. La Luna, al pasar frente a la Nebulosa del Cangrejo, interrumpiría abruptamente el curso de los rayos. Mi ensayo añadía:

«El 7 de julio de 1964 la Luna cruzó frente a la Nebulosa del Cangrejo y se envió un cohete para hacer mediciones... Los rayos X se interrumpieron gradualmente. La fuente de los rayos tiene cerca de un año-luz de diámetro y no es una estrella neutrónica».

«...A principios de 1965, los físicos del CIT volvieron a calcular la velocidad de enfriamiento de una estrella neutrónica... Decidieron que... emitiría rayos X sólo durante semanas».

La conclusión, aparentemente, era la improbabilidad de que *cualquier* fuente de rayos X fuera una estrella neutrónica y que estos objetos, aun si existían, tal vez nunca fueran detectados.

Y, sin embargo, apenas dos años después que escribí el ensayo (y unos ocho meses después que se publicó el volumen) las estrellas neutrónicas fueron descubiertas, y ahora se conocen unas pocas. Es razonable, pues, que yo vuelva atrás y explique cómo sucedió.

En el capítulo anterior comenté el descubrimiento de las enanas blancas.

Las enanas blancas son estrellas que tienen la masa de las estrellas ordinarias pero el volumen de un planeta. La primera enana blanca que se descubrió, Sirio B, tiene una masa equivalente a la de nuestro Sol, pero un diámetro de sólo 47,000 kilómetros, que es aproximadamente el de Urano.

¿Cómo es posible?

Una estrella como el Sol tiene un campo gravitacional lo bastante intenso para atraer su propia materia hacia dentro, con una fuerza que aplasta los átomos y los reduce a un fluido electrónico dentro del cual los núcleos, mucho más pequeños, se mueven libremente. Aun si en esas circunstancias el Sol se comprimiera hasta alcanzar 1/26.000 de su volumen actual y una densidad 26.000 veces superior a la actual, convirtiéndose en una enana blanca similar a Sirio B, seguiría siendo —desde el punto de vista de los núcleos atómicos— casi todo espacio vacío.

Pero el Sol no se comprime. ¿Por qué?

En el corazón de la estrella la fusión nuclear eleva la temperatura interna hasta 15.000.000 de grados centígrados. El efecto expansivo de esa temperatura compensa la

[*] Squush, verbo onomatopéyico, significa «aplastar», «comprimir». (N. del T.)

atracción gravitatoria y permite que el Sol siga siendo una enorme esfera de gas incandescente con una densidad general de sólo 1,4 veces la del agua.

Eventualmente, sin embargo, la fusión nuclear del centro de una estrella se queda sin combustible. Se trata de un proceso complicado que no hace falta reseñar aquí, pero a la larga no queda nada para alimentar el calor necesario en el centro, el calor que mantiene a la estrella en estado de expansión. Entonces la gravitación no encuentra más resistencia: hay un colapso estelar y se forma la enana blanca.

El fluido electrónico dentro del cual se mueven los núcleos de la enana blanca puede ser visualizado, pues, como una especie de resorte que resiste cuando se lo comprime, y resiste con más fuerza cuando se lo comprime con más tenacidad.

Una enana blanca conserva el volumen y resiste nuevas compresiones gravitacionales mediante este efecto de resorte y no mediante el efecto expansivo del calor. Esto significa que una enana blanca no tiene por qué ser caliente. Puede ser caliente por cierto, a causa de la conversión de la energía gravitacional en calor durante el proceso de colapso, pero este calor puede ser irradiado lentamente a través de los eones, de modo que la enana blanca a la larga se transformará en una «enana negra». Aun así, conservará su volumen, pues el fluido electrónico comprimido compensará siempre la atracción gravitacional.

Pero las estrellas tienen masas diferentes. Cuanto mayor sea la masa, más intenso será el campo gravitacional. Cuando el combustible nuclear se agote y se produzca el colapso, mayor será la masa y más intenso el campo gravitacional, y por lo tanto más comprimida y más pequeña la enana blanca resultante.

Eventualmente, si la estrella es bastante masiva, la atracción gravitacional será tan intensa y el colapso lo bastante energético para quebrar el resorte del fluido electrónico, y ninguna estrella blanca podrá formarse ni conservar su volumen planetario.

Un astrónomo indonorteamericano, Subrahmanyan Chandrasekhar, consideró la situación, hizo los cálculos necesarios, y en 1931 anunció que la quiebra se produciría si la enana blanca tenía una masa superior a 1,4 veces la del Sol. Esta masa se llama «límite de Chandrasekhar».

No muchas estrellas tienen masas que excedan ese límite: no más del 2 por ciento de todas las estrellas existentes. Sin embargo, son precisamente las estrellas masivas las primeras en agotar el combustible nuclear. Cuanta más masa tenga una estrella más pronto agotará el combustible nuclear y más drástico será el colapso.

En los 15.000.000.000 de años de vida del Universo, el colapso debe haberse producido en forma desproporcionada entre las estrellas masivas. De todas las estrellas que han consumido el combustible nuclear y estallaron, por lo menos la cuarta parte, tal vez más, tenían masas superiores al límite de Chandrasekhar. ¿Qué les ocurrió?

El problema no inquietaba a la mayoría de los astrónomos. Cuando una estrella consume el combustible nuclear, se expande, y parece probable que en el colapso definitivo sólo participen las regiones interiores. Las regiones exteriores permanecerían formando una «nebulosa planetaria» en que una estrella brillante consumida quedaría rodeada por un vasto volumen de gas.

Claro que la masa de gas de una nebulosa planetaria no es muy grande, de modo que sólo las estrellas que excedieran ligeramente el límite perderían la masa suficiente para volver a una situación segura debajo del límite.

Por otra parte, hay estrellas, novas y supernovas, que al explotar pierden entre un 10 y un 90 por ciento de la masa estelar total. Cada explosión desparrama polvo y gas en todas las direcciones, como en la Nebulosa del Cangrejo, dejando sólo una pequeña región interior, a veces una *muy* pequeña región interior, para el colapso.

Podría suponerse, pues, que cuando la masa de una estrella excede el límite de Chandrasekhar algún proceso natural le quitaría masa suficiente para dejar una porción inferior al límite, que sufriría el colapso.

¿Pero si no siempre fuera así? ¿Y si no pudiéramos confiar tanto en la benevolencia del Universo y a veces un conglomerado de materia demasiado masivo sufriera el colapso?

En 1934 los astrónomos norteamericanos Fritz Zwicky, de origen suizo, y Walter Baade, de origen alemán, consideraron esta posibilidad y decidieron que la estrella en cuestión simplemente atravesaría la barrera de fluido electrónico. Los electrones, cada vez más comprimidos, se fundirían con los protones de los núcleos atómicos del fluido, y la combinación

formaría neutrones. La estrella ahora consistiría principalmente en los neutrones presentes en el núcleo más los neutrones adicionales formados por la combinación de electrones y protones.

La estrella así terminaría siendo sólo neutrones y continuaría el colapso hasta que los neutrones establecieran un contacto esencial. Entonces sería una «estrella neutrónica». Si el Sol se transformara en estrella neutrónica tendría un diámetro de sólo 1/100.000 del actual. Tendría sólo 14 kilómetros de diámetro, pero conservaría toda su masa.

Un par de años más tarde, el físico norteamericano J. Robert Oppenheimer, y uno de sus estudiantes, George M. Volkoff, elaboraron detalladamente la teoría de las estrellas neutrónicas.

Parecería que las enanas blancas se formaron cuando estrellas relativamente pequeñas se extinguieron de un modo razonablemente apacible. Cuando una estrella masiva estalla transformándose en supernova (como sólo lo hacen las estrellas masivas), el colapso es lo bastante rápido para atravesar la barrera del fluido electrónico. Aunque buena parte de la estrella sea despedida y el vestigio que sufrirá el colapso quede por debajo del límite de Chandrasekhar, la velocidad del colapso puede hacerle atravesar la barrera. Por lo tanto nos quedaría una estrella neutrónica menos masiva que ciertas enanas blancas.

Cabe preguntarse, sin embargo, si realmente existen tales estrellas neutrónicas. Las teorías son siempre muy bonitas, pero a menos que se las corrobore mediante la observación y la experimentación son sólo especulaciones gratas que divierten a los científicos y los escritores de ciencia-ficción. Claro, no es fácil experimentar con estrellas que se extinguen, y mucho menos observar un objeto de apenas kilómetros de diámetro que está a muchos años-luz.

Si uno se guía sólo por la luz, la tarea es de veras dificultosa, pero al formarse una estrella neutrónica una buena cantidad de energía gravitacional se transforma en calor y otorga al objeto recién formado una temperatura de superficie de unos 10.000.000 de grados centígrados. Esto significa que emitirá una enorme cantidad de una radiación muy energética, rayos X para ser exactos.

Eso no serviría de nada para los observadores de la Tierra, pues los rayos X de fuentes cósmicas no penetrarían la atmósfera. Sin embargo, a principios de 1962 cohetes equipados con instrumental para captar rayos X fueron enviados más allá de la atmósfera. Se descubrieron fuentes de emisión de rayos X y se suscitó el interrogante de si alguna de ellas podía ser una estrella neutrónica. Hacia 1965, según expliqué en *«Squ-u-u-ush»*, el peso de la evidencia parecía probar lo contrario.

Entretanto, sin embargo, los astrónomos se volcaban cada vez más al estudio de las fuentes emisoras de ondas de radio. Además de la luz visible, algunas de las ondas de radio de onda corta, llamadas «microondas», podían penetrar la atmósfera, y en 1931 un ingeniero de radio norteamericano, Karl Jansky, detectó microondas procedentes del centro de la Galaxia.

En ese momento no despertaron mayor interés porque los astrónomos en realidad no disponían de artefactos apropiados para detectar y analizar esa irradiación, pero en la Segunda Guerra Mundial se desarrolló el radar. El radar utilizaba la emisión, reflexión y detección de microondas, y hacia el fin de la guerra los astrónomos disponían de toda una serie de artefactos que ahora podían consagrar al pacífico uso de indagar el firmamento.

Empezó la «radioastronomía» e hizo enormes progresos. De hecho, los astrónomos aprendieron cómo utilizar complejas combinaciones de aparatos de detección de microondas («radiotelescopios») que podían captar con más precisión objetos más distantes que los telescopios ópticos.

Con los perfeccionamientos técnicos, la detección mejoró no sólo en el espacio sino en el tiempo. Los radioastrónomos no sólo podían detectar fuentes de emisión, sino que también captaron indicios de que la intensidad de las ondas emitidas podía variar con el tiempo. A principios de la década del '60 incluso había indicios de que la variación podía ser muy rápida, una especie de pestañeo.

Los radio telescopios no estaban diseñados para percibir fluctuaciones de intensidad muy rápidas porque en realidad nadie había previsto esa necesidad. Se crearon pues artefactos diseñados especialmente para captar el pestañeo de las microondas. Quien encabezó esta tarea fue el astrónomo británico Antony Hewish del *Observatorio de la Universidad de Cambridge*. Supervisó la construcción de 2.048 receptores separados dispuestos de tal modo que cubrían una superficie de 18.000 metros cuadrados.

En julio de 1967 el nuevo radiotelescopio fue enfocado hacia los cielos en busca de ejemplos de pestañeo.

Al cabo de un mes, una joven egresada británica, Jocelyn Bell, que operaba los controles del telescopio, recibió estallidos de microondas de un lugar ubicado entre las estrellas Vega y Altair. Los estallidos eran muy acelerados, al punto de que no había ningún precedente similar, y Bell no podía creer que vinieran del cielo. Pensó que estaba detectando señales de artefactos eléctricos de la vecindad que interferían en la labor del radiotelescopio. Sin embargo, cuando volvió al telescopio noche tras noche, descubrió que la fuente de emisión se desplazaba regularmente a través del cielo en coordinación con las estrellas. Nada en la Tierra podía estar imitando ese movimiento y la causa tenía que estar en el cielo. Informó del asunto a Hewish.

Ambos se dedicaron a estudiar el fenómeno y para fines de noviembre recibían los estallidos tan detalladamente que pudieron determinar que eran tan rápidos como regulares. Cada estallido de ondas de radio duraba sólo 1/20 de segundo y los estallidos llegaban con intervalos de 1,33 segundos, o sea, unas 45 veces por minuto.

No era simplemente la detección de una intermitencia asombrosa en una fuente ya conocida. Era la primera vez que se captaba esa fuente. Los radiotelescopios anteriores no estaban diseñados para captar estallidos tan breves y habrían detectado sólo la intensidad promedio, incluyendo el período muerto entre los estallidos. El promedio era sólo el 3 por ciento del máximo de intensidad del estallido, y pasó inadvertido.

La regularidad de los estallidos resultaba casi increíble. Llegaban con tanta regularidad que se los pudo calcular hasta 1/10.000.000.000 de segundo sin encontrar variaciones significativas de una pulsación a otra. El período era de 1,3370109 segundos.

Esto era extremadamente importante. Si la fuente era un complejo conglomerado de materia —una galaxia, un racimo estelar, una nube de polvo—, entonces ciertas partes de él emitirían microondas de una manera que diferiría un poco de la emisión realizada por otras partes. Aunque cada parte variara regularmente, el resultante del conjunto sería bastante asombroso. Para que los estallidos de microondas detectadas por Bell y Hewish fueran tan simples y regulares, tenía que tratarse de un número pequeño de objetos, tal vez incluso de un *solo* objeto.

De hecho, a primera vista la regularidad parecía excesiva para un objeto inanimado y se tuvo la ligera e inquietante sospecha de que quizá fuera al fin y al cabo un artefacto, aunque no de la vecindad ni de la Tierra. Tal vez estos estallidos eran las señales extraterrestres que algunos astrónomos habían tratado de detectar. Al principio el fenómeno se denominó «LGM», las iniciales de *Little green men* («hombrecitos verdes»).

Sin embargo, la noción de LGM no pudo sostenerse mucho tiempo. Los estallidos implicaban energías totales tal vez 10.000.000.000 de veces superiores a las que podían producir todas las fuentes emisoras de la Tierra en conjunto, lo cual representaba una inversión enorme de energía si eran de origen inteligente. Además, los estallidos eran tan invariablemente regulares que virtualmente no contenían información alguna. Una inteligencia avanzada tenía que ser de una estupidez avanzada para gastar tanta energía en tan escasa información.

Hewish sólo pudo concluir que los estallidos se originaban en algún objeto cósmico —quizás una estrella— que enviaba pulsaciones de microondas. Por lo tanto llamó al objeto una «estrella pulsátil», nombre que prontamente se abrevió en «pulsar».

Hewish buscó indicios sospechosos de titilaciones en otros lugares en los registros que había estado acumulando su instrumento, los descubrió, los cotejó, y finalmente estuvo seguro de haber detectado tres pulsares más. El 9 de febrero de 1968 anunció al mundo el descubrimiento (que le valió una participación en el Premio Nobel de física de 1974).

Otros astrónomos del mundo se pusieron a indagar el cielo ávidamente y pronto descubrieron más pulsares. Hoy se conocen más de cien, y tal vez haya no menos de 100.000 en nuestra Galaxia. El pulsar conocido más próximo quizá esté escasamente a 300 años-luz.

Todos los pulsares se caracterizan por una extrema regularidad de pulsación, pero el período exacto varía de uno al otro. El que tiene el período más largo conocido es de 3,75491 segundos (o 16 veces por minuto).

El pulsar de período más corto que se conoce fue descubierto en octubre de 1968 por astrónomos del *Observatorio Nacional de Radioastronomía de Green Bank*, Virginia Oeste. Está en la Nebulosa del Cangrejo y éste fue el primer vínculo obvio entre los pulsares y las supernovas. El pulsar de la Nebulosa del Cangrejo tiene un período de apenas 0,033099

segundos. Esto equivale a unas 1,813 veces por minuto, una pulsación 113 veces tan rápida como la del período más largo de los otros pulsares conocidos.

¿Pero qué podría producir pulsaciones tan rápidas y regulares?

Descartando la participación de seres inteligentes, sólo podría ser producida por el movimiento muy regular de uno o tal vez dos objetos. Estos movimientos podrían ser o bien (1) la revolución de un objeto alrededor de otro con un estallido de microondas en algún punto de la revolución, o bien (2) la rotación de un solo cuerpo sobre su eje, con un estallido en algún punto de la rotación, o bien (3) la pulsación hacia dentro y hacia fuera de un solo cuerpo, con un estallido en un punto de la pulsación.

La revolución de un objeto alrededor de otro podría ser la de un planeta alrededor de su sol. Esta fue la primera y peregrina idea de los astrónomos cuando se sospechaba que los estallidos eran de origen inteligente. Sin embargo, no hay modo razonable de que un planeta gire o rote de forma tal que explique una regularidad tan rápida en ausencia de seres inteligentes.

Las revoluciones más rápidas aparecían cuando los campos gravitacionales eran muy intensos, y en 1968 eso significaba enanas blancas. Imaginemos dos enanas blancas, cada cual en el límite de Chandrasekhar y girando en órbitas recíprocas. No podía haber revolución más rápida, según lo que se pensaba en 1968, y, sin embargo, esa rapidez era insuficiente. El pestañeo de microondas no podía ser, por lo tanto, resultado de una revolución.

¿Y la rotación? Imaginemos una enana blanca rotando en un período de menos de 4 segundos. Imposible. Aun una enana blanca, pese al poderoso campo gravitacional que le mantiene la cohesión, se desgajaría en partes rotando a esa velocidad, única explicación posible de las pulsaciones.

Para explicar el pestañeo de las microondas, se necesitaba un campo gravitacional mucho más intenso que el de las enanas blancas, lo cual dejaba a los astrónomos una sola dirección posible.

El astrónomo norteamericano de origen austriaco, Thomas Gold, fue el primero en decirlo. Los pulsares, sugirió, eran las estrellas neutrónicas que Zwicky, Baade, Oppenheimer y Volkoff habían mencionado una generación antes. Gold señaló que una estrella neutrónica era lo bastante pequeña y tenía un campo gravitacional lo bastante intenso para poder rotar sobre su eje en 4 segundos o menos sin destruirse.

Más aun, una estrella neutrónica debía tener un campo magnético como cualquier estrella ordinaria, pero el campo magnético de la estrella neutrónica estaría tan comprimido y concentrado como la materia que componía a la estrella. Por esa razón, el campo magnético de una estrella neutrónica sería enormemente más intenso que el de una estrella ordinaria.

La estrella neutrónica, mientras giraba sobre su eje, despediría electrones de las capas exteriores (donde todavía existirían protones y electrones), gracias a la enorme temperatura de la superficie. Esos electrones serían atrapados por el campo magnético y sólo podrían escapar en los polos magnéticos, en lugares opuestos de las estrellas neutrónicas.

Los polos magnéticos no tenían que estar en los polos de rotación (en el caso de la Tierra, por ejemplo, no lo están). Cada polo magnético pasaría sobre el polo de rotación en 1 segundo o en fracciones de segundo y al hacerlo despediría electrones (tal como un rociador giratorio echa agua). Los electrones despedidos se curvarían en respuesta al campo magnético de la estrella neutrónica y perderían energía en el proceso. Esa energía surgía en forma de microondas, que no eran afectadas por los campos magnéticos y eran lanzadas al espacio.

Cada estrella neutrónica lanzaría así dos chorros de ondas de radio desde lugares opuestos de su diminuta esfera. Si una estrella neutrónica apuntaba uno de esos chorros en nuestro campo de visión al rotar la Tierra, recibirían una brevísima pulsación de microondas con cada rotación. Algunos astrónomos estiman que sólo una estrella neutrónica de cien enviaría microondas en nuestra dirección, de modo que de las posibles 100.000 de nuestra Galaxia nunca podríamos detectar más de 1.000.

Gold señaló, además, que si su teoría era correcta la estrella neutrónica estaría perdiendo energía por los polos magnéticos y su velocidad de rotación disminuiría lentamente. Esto significaba que cuanto más rápido fuera el período de un pulsar más joven sería, y más prontamente perdería energía y disminuiría la velocidad.

Eso concuerda con el hecho de que la estrella neutrónica de la Nebulosa del Cangrejo sea la de período más corto que se conoce, pues todavía no tiene mil años y quizá sea la más joven

que podemos observar. En el momento de su formación, quizá rotaba a 1.000 veces por segundo. La rotación pudo haber perdido velocidad hasta reducirse a 10 segundos en la actualidad.

La estrella neutrónica de la Nebulosa del Cangrejo fue estudiada cuidadosamente y en realidad se descubrió que el período se alargaba. El período se incrementa a razón de 36,48 billonésimos de segundo por día, y a ese ritmo el período de rotación habrá duplicado su duración en 1.200 años. El mismo fenómeno se ha descubierto en las otras estrellas neutrónicas con períodos más lentos que el de la Nebulosa del Cangrejo y cuyo ritmo de desaceleración rotacional también es más lento. La primera estrella neutrónica descubierta por Bell, ahora llamada CP1919, está desacelerando su rotación a un ritmo que después de 16.000.000 de años le duplicará el período.

A medida que la rotación de un pulsar se vuelve más lenta, los estallidos de microondas pierden energía. Cuando el período pase los 4 segundos de longitud la estrella neutrónica ya no será detectable. Sin embargo, las estrellas neutrónicas probablemente sigan siendo objetos detectables durante diez millones de años.

Como resultado de los estudios de la desaceleración de los estallidos de microondas, los astrónomos ahora están bastante seguros de que los pulsares son estrellas neutrónicas, con lo cual queda hecha la enmienda a mi viejo ensayo «*Squ-u-u-ush*».

A veces, de paso, una estrella neutrónica de golpe acelera ligeramente su período para luego retomar su tendencia a la desaceleración. Esto se detectó por primera vez en febrero de 1969, cuando se descubrió una súbita alteración en el período de la estrella neutrónica Vela X-1. Esa alteración repentina fue llamada *glitch*, de una palabra yiddish que significa «resbalar», y ese término *slang* es hoy parte del vocabulario científico.

Algunos astrónomos sospechan que el *glitch* puede ser resultado de un sismo estelar, un desplazamiento de la distribución de la masa dentro de la estrella neutrónica que provoca un encogimiento de 1 centímetro o menos en el diámetro. O quizá podría ser el resultado de la caída de un meteoro de gran tamaño en la estrella neutrónica, de tal modo que el ímpetu del meteoro se añade al de la estrella.

Desde luego no hay razón para que los electrones despedidos por una estrella neutrónica pierdan energía sólo como microondas. Tendrían que producir ondas en todo el espectro. Por ejemplo, deberían emitir rayos X, también, y la estrella neutrónica de la Nebulosa del Cangrejo en efecto los emite. Entre un 10 y un 15 por ciento de todos los rayos X irradiados por la Nebulosa del Cangrejo provienen de la estrella neutrónica. El 85 por ciento restante, que provenía de los gases turbulentos que rodean a la estrella neutrónica, oscureció este hecho y descorazonó a los astrónomos que en 1964 habían buscado una estrella neutrónica en esa zona.

Una estrella neutrónica también tendría que producir relampagueos de luz visible.

En enero de 1969 se notó que la luz de una estrella opaca de decimosexta magnitud dentro de la Nebulosa del Cangrejo relampagueaba en precisa concordancia con las pulsaciones radiales. Los relampagueos eran tan cortos y el período entre ellos tan fugaz que se requería equipo especial para captar los relampagueos. Observada con medios ordinarios la estrella parecía emitir una luz fija.

La estrella neutrónica de la Nebulosa del Cangrejo fue el primer «pulsar óptico» que se descubrió, la primera estrella neutrónica *visible* (Después que este ensayo se publicó por primera vez, se detectó una segunda estrella neutrónica visible).

La historia no termina aquí, pues mi ensayo «*Squ-u-u-ush*» tenía errores más gruesos que la alusión a las estrellas neutrónicas.

Corregirlos me permitirá dar un paso más. En el último capítulo hablamos acerca del descubrimiento de ese pequeño y denso monstruo estelar, la enana blanca.

En este capítulo hablamos del descubrimiento de ese supermonstruo estelar, más pequeño y más denso, la estrella neutrónica.

Bien, en el capítulo siguiente hablaremos del descubrimiento del supermonstruo estelar más desconcertante, más pequeño y más denso, el agujero negro.

16

EL COLAPSO FINAL

Cuando yo era joven (aun más joven que ahora, si pueden imaginar algo semejante), leía los libros escritos por mis predecesores en el campo de la exposición científica.

Me interesaba especialmente el mundo asombroso de la relatividad y me fascinaba la nueva visión geométrica del Universo, el modo en que el espacio se curvaba en la vecindad de la materia, curvándose más pronunciadamente cuando las masas eran más y más grandes y más y más condensadas. El efecto gravitacional, deduje, era un modo de describir cómo todos los objetos, aun los más ligeros, doblaban la curva.

Estos libros me dijeron directamente, o bien yo inferí (ya no recuerdo cómo fue exactamente), que si se podía obtener una masa lo suficientemente grande y condensada se podía imaginar un espacio curvado tan pronunciadamente alrededor del cuerpo que sólo quedaría un cuello de botella para comunicarlo con el Universo en general. Si la masa era aun más grande y más condensada, el cuello de botella se estrecharía progresivamente hasta que al fin, en un valor crítico de masa y densidad, se cerraría del todo dejando a la supermasa efectivamente aislada en Universo propio, incapaz de afectar de ninguna manera al gran Universo del que una vez había formado parte.

Todavía creía esto en 1965, pues en mi ensayo *«Squ-u-u-ush»*, después de comentar la estrella neutrónica (ver el capítulo precedente), aludía a un objeto comprimido aun más extremadamente. Como no tenía una denominación para tal objeto, inventé el término «estrella superneutrónica».

El Sol se transformaría en una estrella neutrónica si, sin perder masa, se redujera a una diminuta esfera de 14 kilómetros de diámetro. Si se comprimiera aun más, hasta ser una pelota de apenas 6 kilómetros de diámetro, se transformaría en lo que yo llamaba una «estrella superneutrónica», con una densidad y una gravedad de superficie que decuplicarían la de una estrella neutrónica del tamaño del Sol y una velocidad de escape equivalente a la velocidad de la luz. Como nada puede ir más rápido que la luz (salvo los hipotéticos y aún problemáticos taquiones) nada, ni siquiera la luz, puede abandonar semejante estrella superneutrónica.

En 1965 el resultado de este proceso me parecía un ejemplo de un diminuto fragmento aislado del Universo e incapaz de afectar al resto. En *«Squ-u-u-ush»* hice las siguientes afirmaciones al respecto:

> «Una estrella superneutrónica por lo tanto no podría afectar de ninguna manera al resto del Universo. No daría indicios de su existencia, ni por sus irradiaciones ni por su gravitación...».
>
> «La estrella superneutrónica ha sido encapsulada en un diminuto universo propio, para siempre cerrado y autosuficiente...».
>
> «Naturalmente, nunca podríamos detectar una estrella superneutrónica aun si existiera, por muy cerca que estuviese...».

Lamentablemente me equivocaba. Aparentemente, mientras la materia y la radiación magnética no pueden escapar de una estrella superneutrónica, el efecto gravitacional continuará ejerciendo su poder, La estrella superneutrónica, pues, puede afectar y afecta partes exteriores del Universo mediante la gravitación y no ocupa un universo propio, y como no afecta al resto del Universo, en teoría puede ser detectada.

También debería mencionar que el nombre que sugerí, «estrella superneutrónica», no tuvo difusión. El razonamiento era el siguiente:

Una masa superneutrónica con una velocidad de escape igual o mayor que la velocidad de la luz no puede emitir partículas que posean masa. Esto significa que cualquier fragmento de materia ordinaria puede caer dentro pero no volver a salir. El efecto es el de caer en un agujero infinitamente grande en el espacio. Más aun, como ni siquiera la luz puede emerger de ella, no podemos verla. Es un agujero completamente negro, y ése es el nombre. La estrella superneutrónica es generalmente conocida como «agujero negro», pero nunca oí la expresión hasta después de 1965.

Desde luego, «agujero negro» no suena muy científico, y se ha propuesto el giro *collapsed star* («estrella que ha sufrido un colapso») para reemplazarlo. Esto se abreviaría en «colapsar», una forma análoga a «cuasar» y «pulsar».

Sin embargo, no creo que «colapsar» prospere demasiado. «Agujero negro» puede sonar prosaico, pero la imagen que proporciona es tan dramática, y tan esencialmente atinada, que no creo que se abandone.

Así, después de haber hablado de las enanas blancas en el capítulo 14 y de las estrellas neutrónicas en el capítulo 15, pasemos ahora a los agujeros negros.

La masa de una enana blanca, cohesionada por un intenso campo gravitacional, se salva del colapso total gracias a la resistencia del fluido electrónico, que puede ser descripto como electrones en contacto. No obstante, si la masa de una estrella es demasiado grande, producirá un campo gravitacional demasiado intenso para encontrar oposición en el fluido electrónico. En ese caso, al producirse el colapso, la estrella salteará la etapa de enana blanca y se transformará en estrella neutrónica, donde es un fluido neutrónico lo que resiste un nuevo colapso.

Por cierto, aun ese conglomerado de neutrones debe tener un límite de resistencia. En 1939, J. Robert Oppenheimer razonó que en algún punto el fluido neutrónico debía ceder y que cuando eso ocurriera no existía nada —*nada*— que pudiera oponerse al colapso gravitacional. Habría un colapso final que reduciría a la estrella a un volumen cero, y se formaría un agujero negro.

Parecería que el nivel de masa crucial equivale a 3,2 veces la masa del Sol, de modo que no puede haber estrella neutrónica con una masa superior a ésa.

Alrededor de una estrella cada mil posee una masa superior a 3,2 veces nuestro Sol. No parece mucho, pero sólo en nuestras Galaxias suman unas 100.000.000 de estrellas. Más aun, estas estrellas masivas son de corta vida. Mientras nuestro Sol permanecerá en la secuencia principal, irradiando constante y serenamente como ahora, un total de 12.000.000.000 de años (de los cuales ya han transcurrido 5.000.000.000) antes de expandirse y sufrir el colapso, estos 100.000.000 de estrellas masivas permanecerán en la secuencia principal menos de 1.000.000.000 de años en total. En los 15.000.000.000 de años de vida del Universo ha habido tiempo para que nacieran y se expandieran generaciones de estas estrellas masivas.

El número total de los colapsos quizá pueda contarse por billones en el tiempo de vida de nuestra Galaxia. ¿Todos estos billones de estrellas masivas se habrán transformado en agujeros negros?

No necesariamente. Tales estrellas invariablemente explotarán como supernovas antes del colapso, y la supernova puede arrojar al espacio hasta nueve décimos de la masa estelar, dejando un vestigio muy pequeño para el colapso. El vestigio puede ser tan pequeño que sufrirá el colapso como estrella neutrónica.

¿Es posible que una supernova siempre arroje la masa suficiente para impedir la formación de un agujero negro? ¿Es posible que cada estrella, por masiva que sea, termine como una estrella neutrónica rodeada de una vasta nube de polvo y gas?

No, no podemos descartar del todo los agujeros negros, pues pareciera que toda estrella que posea una masa equivalente a 20 veces la del Sol no puede desligarse de la masa suficiente mediante las explosiones de supernova como para dejar menos de una masa equivalente a 3,2 veces la del Sol. Esa estrella se transformará necesariamente en agujero negro.

En este momento existen en nuestra Galaxia unas 20.000 estrellas de clase espectral 0, con una masa que oscila entre 20 y 70 veces la del Sol.

Esas estrellas clase 0 son de vida muy corta y es improbable que permanezcan siquiera 1.000.000 de años en la secuencia principal. Durante la vida del Universo, podemos imaginar que han nacido y se han expandido no menos de 15.000 generaciones de tales estrellas gigantes.

Y desde luego algunas estrellas con una masa inferior a 20 veces la del Sol podrían dejar un vestigio superior a 3,2 veces la masa del Sol para el colapso.

Podemos concluir, pues, que tiene que haber agujeros negros en el Universo, tal vez muchos millones de ellos sólo en nuestra galaxia.

En ese caso, si los agujeros negros existen, y en cantidades razonables, ¿pueden ser detectados?

No se pueden detectar partículas que surjan de ellos, ni radiación electromagnética, pero en teoría pueden detectarse efectos gravitacionales.

Claro que la fuerza gravitacional total ejercida por un agujero negro a gran distancia no es mayor que la fuerza gravitacional total ejercida por su masa en cualquier otra forma. Así, si estuviéramos a 100 años-luz de una estrella gigante con una masa equivalente a 50 veces la del Sol, su efecto gravitacional se diluiría tanto con la distancia que sería pequeño e indetectable. Si la estrella se transformara en un agujero negro con una masa equivalente a 50 veces la del Sol, su efecto gravitacional a una distancia de 100 años-luz sería precisamente similar al anterior y seguiría siendo indetectable.

La diferencia se presenta en las cercanías. El agujero negro es mucho más pequeño que una estrella gigante de la misma masa. Un objeto cerca de la superficie del agujero negro está mucho más cerca del centro de la masa que un objeto cerca de la superficie de la estrella gigante (Aun si imaginamos un objeto penetrando la superficie de la estrella gigante y aproximándose al centro, una porción creciente de la masa de la estrella queda atrás y el objeto que penetra es atraído sólo por la masa más cercana al centro que el objeto mismo. Cuando el objeto está a pocos kilómetros del centro de la estrella, la fuerza gravitacional es muy pequeña).

Lo que podemos esperar, pues, es detectar no la atracción gravitacional total de un agujero negro sino los efectos de las intensidades gravitacionales localmente enormes que produce.

Según la Teoría de la Relatividad General de Einstein, por ejemplo, la actividad gravitacional libera ondas gravitacionales. Éstas llevan una cantidad tan minúscula de energía que es casi imposible detectarlas. Si alguna posibilidad existe, se produciría cuando se emitan ondas gravitacionales con mucha más energía que la acostumbrada. Para producir tales ondas gravitacionales, tendría que haber un agujero negro en proceso de formación o crecimiento.

A fines de la década del '60 el físico norteamericano Joseph Weber utilizó grandes cilindros de aluminio, que pesaban varias toneladas cada uno y estaban ubicados a cientos de millas de distancia, como detectores de ondas gravitacionales. Los cilindros se comprimirían y expandirían ligeramente con el paso de ondas gravitacionales; y como las ondas gravitacionales tienen longitudes de onda increíblemente largas, dos cilindros, aunque estuvieran muy separados, reaccionarían simultáneamente ante la misma onda. De hecho, esta reacción simultánea es el indicio más seguro de que se está detectando una onda gravitacional.

Weber informó haberlas detectado y produjo bastante revuelo. Los datos de Weber daban a entender que acontecimientos gravitacionales enormemente energéticos sucedían en el centro de la Galaxia y que allí podía haber un gran agujero negro.

Otros científicos, sin embargo, han intentado repetir los hallazgos de Weber y han fracasado, de modo que actualmente no se sabe con certeza si se han detectado ondas gravitacionales. Tal vez haya un agujero negro en el centro de la Galaxia, pero actualmente el método de detección de Weber se ha descartado y hay que encarar otros.

Otra manera, siempre utilizando el intenso efecto gravitacional del agujero negro en su vecindad inmediata, consiste en estudiar el comportamiento de la luz que podría estar pasando ante un agujero negro. La luz se curva ligeramente en dirección de una fuente gravitacional, y lo hace detectablemente si pasa frente a un objeto grande con un campo de gravitación ordinario, como nuestro Sol.

Supongamos que un agujero negro se encuentra precisamente entre una galaxia distante y la Tierra. La luz de la galaxia se topará con el agujero negro, en sí mismo invisible. La luz se curvará por todas partes hacia el agujero negro y será obligada a converger en nuestra dirección.

Gravitacionalmente, el efecto del agujero negro sobre la luz equivale al que produce una lente mediante la refracción. Por lo tanto, el efecto es denominado «lente gravitacional».

Si viéramos una galaxia que pese a la distancia luce anormalmente enorme, y posiblemente distorsionada además, podríamos sospechar que una lente gravitacional la está magnificando y que entre ellas y nosotros hay un agujero negro. Sin embargo, hasta ahora no se ha observado este fenómeno. Hay que encontrar otro modo de detectar los agujeros negros.

Los agujeros negros no están solos en el Universo. Podría haber otra materia en la vecindad, y esa materia, al pasar cerca del agujero negro, podría chocar con él y ser engullida o desplazarse en órbita alrededor.

Al acercarse a un agujero negro, cualquier objeto mayor que una partícula de polvo quedaría sujeto a fuerzas tan descomunales que sería reducido a polvo. Alrededor del agujero negro, pues, habría un «disco de acrecencia», una especie de cinturón de asteroides de partículas de polvo a unos 200 kilómetros del centro.

Si el agujero negro estuviera aislado, sin mayores cantidades de materia en años-luz de distancia, el disco de acrecencia sería muy delgado, tal vez inexistente. Si, por el contrario, hubiera una gran fuente de materia ordinaria en la vecindad inmediata, se formaría un disco de acrecencia grueso y denso.

Podríamos suponer que el disco de acrecencia giraría para siempre alrededor del agujero negro, como la Tierra gira alrededor del Sol. Sin embargo, habría muchas colisiones que pasarían energía de una partícula a otra. Algunas partículas perderían energía y se acercarían más al agujero negro. Cuanto más se acerquen, más les costará alejarse de nuevo, y una vez cruzado cierto límite crítico no podrán volver a emerger.

De modo que habría una continua llovizna de materia entrando en el agujero negro. El disco de acrecencia no desaparecería necesariamente, pues llegarían nuevas provisiones de materia del filón existente en las vecindades.

La materia que entrara en el agujero negro perdería energía gravitacional, que así se convertiría en calor. La materia se calentaría aun más por el estiramiento y compresión de fuerzas turbulentas. El resultado sería que la materia que entrara en el agujero negro alcanzaría temperaturas enormes y despediría toda una gama de radiación electromagnética, incluidos rayos X de gran energía.

Así, mientras no podemos detectar un agujero negro rodeado por un vacío total, sería posible detectar uno que trague materia, pues esa materia emitiría rayos X como grito de muerte.

Los rayos X tendrían que ser lo bastante intensos para ser detectados a través de muchos años-luz, de modo que tendrían que representar algo más que una tenue llovizna de polvo ocasional. Tendría que haber torrentes de materia precipitándose hacia adentro y esto significaría que el agujero negro, para ser detectado, tendría que estar en un medio muy especial, con grandes provisiones de materia.

Es más probable, pues, detectar agujeros negros en regiones donde las estrellas están más apiñadas que en regiones donde las estrellas están dispersas. Las estrellas están más apiñadas que en ninguna otra parte en el centro de las galaxias, y allí es quizá donde deberíamos mirar.

En los años recientes se han incrementado las evidencias de que explosiones energéticas espectaculares se produjeron en el pasado en el centro de las galaxias, y en pocos casos han podido observarse. ¿Los agujeros negros podrían ser responsables?

En realidad, se ha detectado una fuente de microondas muy compacta y energética en el centro de nuestra propia Galaxia. ¿Podría tratarse de un agujero negro? Algunos astrónomos suponen que sí y que nuestro agujero negro galáctico tiene la masa de 100.000.000 de estrellas, o sea, 1/1.000 de la Galaxia entera. Tendría un diámetro de 700.000.000 de kilómetros y sería tan grande como para destruir estrellas completas mediante sus efectos turbulentos o de engullirlas antes de que se desmenuzaran, si la atracción fuera muy rápida.

Tal vez todas las galaxias tienen un agujero negro en el centro, y en ese caso el agujero negro de ese tipo más próximo a nosotros es desde luego el de nuestra propia Galaxia, que está a unos 30.000 años-luz. Un gran agujero negro sería un vecino bastante molesto, pero 30.000 años-luz es una distancia prudente.

Tal vez los centros galácticos no son los únicos lugares donde existen agujeros negros detectables. Fuera del centro hay racimos globulares compuestos por decenas de miles y aun centenares de miles de estrellas apiñadas en un conglomerado esférico.

Estos racimos globulares (de los que hay unos doscientos en nuestra Galaxia) no tienen la densidad de un centro galáctico, pero en sus centros las concentraciones estelares son mucho más elevadas que cerca de nuestro Sol.

De hecho, algunos racimos globulares han sido identificados como fuentes emisoras de rayos X. Existe pues la posibilidad de que realmente haya agujeros negros en el centro de algunos racimos, y quizá de todos los racimos. Algunos astrónomos especulan que tales agujeros negros pueden tener masas equivalentes de 10 a 100 veces la de nuestro Sol.

En ese caso, hay algunos agujeros negros detectables más cerca que el centro de nuestra Galaxia. El más próximo sería el del racimo globular de Omega del Centauro, a unos 22.000 años-luz.

El problema de los agujeros negros en el centro de las galaxias o los racimos globulares es que no se les puede echar un vistazo. Se puede detectar una radiación inusual e inferir que tal vez haya un agujero negro, pero como muchos miles o aun millones de estrellas ordinarias se interponen entre el posible agujero negro y nosotros, formando un obstáculo impenetrable para un examen más detenido, sólo podemos conjeturar que el agujero negro existe sin llegar a ninguna certeza.

Lo que necesitamos, pues, es un agujero negro con abundante materia en su vecindad, la suficiente para formar un disco de acrecencia, pero que esté lo suficientemente solo en el espacio para que podamos estudiar la zona donde está localizado sin interposiciones de por medio.

Ambos requerimientos parecerían excluirse mutuamente, pero no es así. Lo que necesitamos es un sistema binario, un par de estrellas que giren alrededor de un centro de gravedad recíproco, con una que sea agujero negro y la otra estrella normal. En ese caso, si los dos objetos están bastante cerca, la estrella normal puede perder la materia necesaria para que el agujero negro forme el disco de acrecencia, que a su vez serviría como fuente de rayos X.

Entonces tendríamos que buscar en el cielo un objeto que consista en una estrella normal y una fuente de rayos X girando alrededor de un centro de gravedad recíproco, sin ninguna estrella visible en el lugar de la fuente de rayos X.

A principios de la década del '60 se descubrieron por primera vez fuentes de rayos X en el cielo, mediante el uso de detectores llevados en cohete más allá de la atmósfera (Los rayos X no penetran nuestra atmósfera). En 1965 se detectó una fuente de rayos X particularmente intensa en la constelación Cygnus y fue denominada Cygnus X-1. Se piensa que está a unos 10.000 años-luz.

El mero hecho de que Cygnus X-1 fuera una fuente de emisión tan intensa despertó interés. En esos años, todavía se buscaban las estrellas neutrónicas y se pensó que Cygnus X-1 podía ser una de ellas.

En 1970 un satélite detector de rayos X se lanzó desde la costa de Kenya, en el séptimo aniversario de la independencia de ese país. Se llamaba «Uhuru», la palabra swahili que significa «libertad». Extendió el conocimiento de las fuentes de rayos X hasta límites imprevistos, pues detectó 161. La mitad de las fuentes detectadas estaban en nuestra propia Galaxia y tres de ellas en racimos globulares.

En 1971 Uhuru detectó un notorio cambio de intensidad de emisión en Cygnus X-1, un detalle especialmente interesante. En esa época ya se habían descubierto las estrellas neutrónicas y se sabía que los rayos X que emitían llegaban en pulsaciones regulares. Un cambio irregular se originaba, mucho más probablemente en un agujero negro, donde muchas cosas dependían de lo que sucediera en el disco de acrecencia y donde la materia podía precipitarse a veces en mayores cantidades que en otras. El hecho de que Uhuru detectara ese cambio en Cygnus X-1, pareció acrecentar la posibilidad de que fuera un agujero negro.

Fue necesario localizar a Cygnus X-1 con gran exactitud, y el mejor recurso eran las microondas que también debía emitir la misma fuente si era un agujero negro. De hecho se detectaron microondas y el uso de radiotelescopios sofisticados posibilitó captar la fuente con bastante precisión y ubicarla cerca de una estrella visible.

La estrella era HD-226868, una enorme y caliente estrella azul de la clase espectral B, con una masa 30 veces superior a la de nuestro Sol. Un astrónomo de la *Universidad de Toronto*, C. T. Bolt, demostró que HD-226868 era binaria. Gira con un período de 5,6 días en una órbita cuya naturaleza hace pensar que el otro objeto del sistema binario posee quizá de 5 a 8 veces la masa de nuestro Sol.

Sin embargo, la otra estrella no se puede ver, de modo que no puede ser una estrella normal. Una estrella normal que poseyera una masa semejante sería más opaca que su compañera, pero lo bastante brillante para resultar visible.

La única razón para que no se la vea sería la pequeñez de su tamaño. Podría ser una enana blanca, una estrella neutrónica o un agujero negro. Una enana blanca no puede tener una masa superior a 1,4 veces la de nuestro Sol, y una estrella neutrónica no puede tener una masa superior a 3,2 veces la de nuestro Sol. La única posibilidad que nos queda es un agujero negro que estaría mucho más cerca de nosotros que un agujero negro en el centro galáctico o en un racimo globular.

Otro punto a favor de la hipótesis del agujero negro es que HD-226868 parece estar expandiéndose como si estuviera entrando en la etapa de gigante roja. Por lo tanto es muy posible que su materia esté siendo devorada por su compañera. Esto formaría un gran disco de acrecencia y explicaría por qué Cygnus X-1 emite rayos X con tal intensidad.

El inconveniente es la distancia.

Supongamos que estamos estudiando un sistema binario determinado y establecemos una separación angular y período cuidadosamente observados. Esa separación angular de tantos centésimos de segundo de arco puede ser convertida en una separación espacial de tantos millones de kilómetros, si se sabe la distancia. Cuanto mayor sea la distancia, mayor será la separación real para producir la separación angular observada.

Pero cuanto mayor sea la separación real mayor será la interacción gravitacional entre las estrellas para producir el período observado. Cuanto mayor sea la interacción gravitacional entre las estrellas mayor será la masa total de ambas estrellas.

Si Cygnus X-1 está de veras a 10.000 años-luz de distancia, la masa de las dos estrellas es la que acaba de dar y la fuente de rayos X es demasiado intensa para ser otra cosa que un agujero negro.

Sin embargo, si por alguna razón Cygnus X-1 está mucho más cerca (y las distancias estelares, salvo en el caso de las estrellas más próximas, pueden ser muy inciertas), la masa de las estrellas sería mucho menor de lo que pensamos. En ese caso, el objeto invisible que emite rayos X podría ser una estrella neutrónica o una enana blanca en vez de un agujero negro. Algunos, incluso, han sugerido que podría tratarse de ese objeto tan poco notorio, la enana roja (Las tres cuartas partes de las estrellas existentes son enanas rojas).

Sin embargo, la mayoría de los astrónomos parece de acuerdo con la distancia de 10.000 años-luz y el agujero negro... y como los agujeros negros son tan dramáticos y acicatean tanto la imaginación, la idea resulta agradable para quienes amamos la ciencia-ficción.

VII

NOSOTROS MISMOS

17

EL COROLARIO DE ASIMOV

Acabo de llegar de Rensselaerville, Nueva York, donde es el quinto año que dirijo un seminario de cuatro días sobre algún tópico futurista (Esta vez era la colonización del espacio). Asistieron entre setenta y ochenta personas, casi todas interesadas en la ciencia-ficción y todas ansiosas de aplicar la imaginación a la formulación de problemas y a la presentación de soluciones.

El seminario sólo dura de domingo a jueves, pero el jueves hay una tristeza masiva ante la idea de la despedida y fervientes promesas (que generalmente se cumplen) de regresar el año próximo.

Este año logramos persuadir a Ben Bova (director de «Analog») y a su encantadora esposa, Barbara, de que asistieran. Participaron con entusiasmo en las sesiones y todos quedaron encantados con ellos.

El jueves al mediodía llegó el fin, y como es costumbre en estas ocasiones, me dieron una pseudo-placa en celebración de mi naturaleza bondadosa y mi célebre gentileza para con las integrantes del sexo opuesto[48].

Una encantadora joven que no llegaba a un metro sesenta de estatura hizo las presentaciones, y por mera gratitud le ceñí la cintura con el brazo. Sin embargo, a causa de su escasa altura, no llegué lo bastante bajo y el resultado provocó risas en la audiencia.

Tratando de disimular este embarazoso *faux pas* (aunque debo admitir que ninguno de los dos nos movimos), dije:

—Lo siento, amigos. Esto es sólo la toma Asimov.

Y desde la audiencia, Ben Bova (que, me parece oportuno recordarlo, es mi amigo y compinche), gritó:

—¿Es algo parecido a la gripe del cerdo?

Me apabulló, ¿y qué hace uno cuando un querido amigo lo apabulla? Bien, trata de olvidarlo y de apabullar a otro querido amigo. En este caso, mi colega inglés Arthur C. Clarke.

En su libro **«Profiles of the Future»** (Harper & Row, 1962), Arthur propone lo que él mismo llama «Ley de Clarke». El enunciado es el siguiente:

> «Cuando un científico distinguido pero anciano declara que algo es posible, casi seguramente tiene razón. Pero cuando afirma que algo es imposible, muy probablemente está equivocado».

Arthur pasa a explicar qué entiende por «anciano». Dice: «En física, matemática y astronáutica significa con más de treinta años; en las otras disciplinas, la senilidad a veces se pospone hasta después de los cuarenta».

Arthur luego da ejemplos de «científicos distinguidos pero ancianos» que se han burlado desdeñosamente de posibilidades que casi inmediatamente fueron hechos. El distinguido británico Ernest Rutherford desechó la probabilidad de la energía nuclear; el distinguido

---

[48] Véase mi libro **«The Sensuous Dirty Old Man»** (Walker, 1971).

norteamericano Vannevar Bush se rió de los proyectiles balísticos intercontinentales; y así sucesivamente.

Pero naturalmente, cuando *yo* leo un párrafo como ese, conociendo a Arthur como lo conozco, empiezo a preguntarme si además de los otros está pensando en mí.

Después de todo, soy un científico. No soy exactamente «distinguido», pero de algún modo a los profanos se les ha ocurrido que sí lo soy, y soy demasiado cortés para provocarles una desilusión, de modo que no lo negaré. Y en segundo término, tengo poco más de treinta años y hace mucho tiempo que tengo poco más de treinta años, de modo que soy «anciano» de acuerdo con la definición de Arthur (Él también, dicho sea de paso, pues tiene, ¡ja, ja! tres años más que yo).

Pues bien. Como científico distinguido pero anciano, ¿he llegado a afirmar que algo es imposible, o en todo caso que ese algo no tiene relación con la realidad? ¡Cielos, sí! En verdad, rara vez me conformo con decir que algo está «mal», sino que empleo libremente términos como «disparates», «tonterías», «pamplinas», «condenadamente estúpido» y otras amabilidades y gentilezas.

Entre otras aberraciones populares actuales, he combatido sin descanso el velikovskianismo, la astrología, los platillos voladores y cosas similares.

Aunque no he tenido oportunidad de tratar el asunto detalladamente, también considero que las declaraciones del suizo Erich von Däniken sobre los «astronautas de la antigüedad» son un fraude; y adopto una actitud similar con la difundida convicción (expresada, pero por lo que sé no suscripta, por Charles Berlitz en **«El triángulo de las Bermudas»**) de que el «triángulo de las Bermudas» es el coto de caza de alguna inteligencia extraterrestre.

¿La Ley de Clarke no me inquieta, entonces? ¿No tengo la sensación de que en algún libro escrito de aquí a un siglo por algún sucesor de Arthur seré citado burlonamente?

No, en absoluto. Aunque acepto la Ley de Clarke y pienso que Arthur tiene razón al sospechar que los pioneros visionarios de hoy son los conservadores nostálgicos de mañana[49], no me siento preocupado por mí mismo. Soy muy selectivo con las herejías científicas que denuncio, pues me guío por lo que denomino el «Corolario de Asimov» a la Ley de Clarke. Este es el Corolario de Asimov:

> «Sin embargo, cuando el público profano se interesa en una idea que es denunciada por científicos distinguidos pero ancianos y respalda esa idea con gran fervor y emoción, es muy probable que al fin y al cabo los científicos distinguidos pero ancianos estén en lo cierto».

¿Y por qué razón? ¿Por qué yo, que no soy un elitista, sino un anticuado y democrático liberal[50], proclamo así la infalibilidad de la mayoría, sosteniendo que está infaliblemente equivocada?

La respuesta es que los seres humanos tienen la costumbre (bastante mala, quizá, pero inevitable) de ser humanos; lo que quiere decir que cree en lo que les resulta cómodo.

Por ejemplo, el Universo tal como existe tiene muchos inconvenientes y desventajas: no se puede vivir eternamente, no se puede obtener algo a cambio de nada, no se puede jugar con cuchillos sin cortarse, no siempre se gana, etcétera, etcétera[51].

Naturalmente, pues, cualquier cosa que prometa eliminar estos inconvenientes y desventajas será creída con avidez. Los inconvenientes y desventajas siguen existiendo, por supuesto, ¿pero qué importa?

Por tomar el inconveniente más grande, más universal y más ineludible, consideremos la muerte. Díganle a la gente que la muerte no existe y lo creerán y sollozarán de gratitud ante la buena nueva. Tomen un censo y vean cuántos seres humanos creen en la vida después de la muerte, en el paraíso, en las doctrinas espiritualistas, en la trasmigración de las almas. Estoy

---

[49] Caramba, el mismo Einstein se negó a aceptar el principio de incertidumbre y en consecuencia pasó los últimos treinta años de su vida como un monumento viviente y nada más. La física siguió adelante sin él.

[50] Véase *«Thinking About Thinking»,* en **«The Planet That Wasn't»** (Doubleday, 1976).

[51] Véase «*Knock Plastic*»*,* en **«Science, Numbers, and I»** (Doubleday, 1968).

muy seguro de que encontrarán una gran mayoría, tal vez abrumadora, que trata de sortear la muerte creyendo que no existe a través de una estrategia o de otra.

Sin embargo, por lo que sé no existe ninguna evidencia que ofrezca alguna esperanza de que la muerte es otra cosa que la disolución permanente de la personalidad y que más allá no hay nada en lo que atañe a la conciencia individual.

Si quieren rebatirlo, presenten pruebas. Pero debo advertir que hay ciertos argumentos que no aceptaré.

> No aceptaré argumentos de autoridad («La Biblia lo dice así»).
> No aceptaré el argumento de la convicción interna («Tengo fe en que es así»).
> No aceptaré argumentos de ataque personal («¿Qué es usted, un ateo?»)
> No aceptaré el argumento de la irrelevancia. («¿Piensa que ha sido puesto en esta Tierra para existir sólo un instante de tiempo?»)
> No aceptaré argumentos anecdóticos («Mi prima tiene una amiga que acudió a una médium y habló con el marido muerto»).

Y cuando se elimina todo eso (y otras variedades de pruebas falsas), no queda nada[52].

¿Entonces por qué cree la gente? Porque quiere. Porque el deseo masivo de creer crea una presión social que es difícil (y en casi todo tiempo y lugar, peligrosa) de enfrentar. Porque poca gente tuvo la oportunidad de ser educada para comprender lo que se entiende por evidencia o las técnicas de argumentación racional.

Pero ante todo porque quiere. ¿Por qué a un fabricante de pasta dentífrica no le basta con decir que su producto limpia los dientes? En cambio da a entender, de forma más o menos indirecta, que esa marca en particular hará de usted una persona sexualmente atractiva. La gente, más interesada en el sexo que en los dientes limpios, estará más dispuesta a creer.

Además, la gente en general gusta de creer en lo dramático, y la incredulidad no es un impedimento para la creencia, sino más bien una ayuda.

Sin duda todos sabemos esto en una época en que naciones enteras pueden ser persuadidas de creer en cualquier tontería que convenga a sus gobernantes y también impulsadas a morir por esa tontería (Pero esta época sólo se diferencia de las anteriores en que el perfeccionamiento de las comunicaciones posibilita una difusión mucho más rápida y eficaz de la idiotez).

Considerando cuánto aman lo dramático, ¿es sorprendente que millones estén ansiosos de creer, simplemente de oídas, que naves espaciales extraterrestres visitan la Tierra y que hay una vasta conspiración de silencio por parte del Gobierno y los científicos para ocultar el hecho? Nadie ha explicado jamás qué esperan ganar el Gobierno y los científicos con semejante conspiración ni cómo puede conservarse cuando todos los demás secretos son expuestos de inmediato y con todo detalle. Pero eso no importa. La gente siempre está dispuesta a creer en cualquier conspiración sobre cualquier cosa.

La gente también está dispuesta a creer ávidamente en asuntos tan dramáticos como la presunta habilidad para entablar conversaciones inteligentes con plantas, la presunta fuerza misteriosa que engulle barcos y aviones en una zona determinada del océano, la presunta propensión de la Tierra y Marte a jugar al ping-pong con Venus y la presunta descripción precisa de las consecuencias en el «Libro del Éxodo», las presuntas visitas de astronautas extraterrestres en tiempos prehistóricos, que presuntamente nos legaron nuestras artes, técnicas, e incluso parte de nuestros genes.

Para volver aun más interesante la situación, a la gente le gusta sentir que se rebela contra una poderosa fuerza represiva... mientras tenga la certeza de que no hay riesgos. Rebelarse contra un poderoso *establishment* político, económico, religioso o social es muy peligroso y pocas personas se atreven a hacerlo, salvo quizá como parte anónima de una turba. Rebelarse

---

[52] Últimamente hubo informes detallados acerca de lo que la gente se supone que ha visto durante la «muerte clínica». No creo una palabra de lo que dicen.

contra el «*establishment* científico», en cambio, es lo más fácil del mundo, y cualquiera puede hacerlo y sentirse muy valiente sin arriesgar un pelo[53].

Así, la gran mayoría, que cree en la astrología y piensa que los planetas no tienen mejor ocupación que formar un código para anunciar a cada cual si el día de mañana es propicio o no para los negocios, se excita y entusiasma más con el fraude cuando un grupo de astrónomos lo denuncia.

Cuando unos pocos astrónomos denunciaron al norteamericano de origen ruso Immanuel Velikovsky, le dieron al hombre (y por reflejo, a sus seguidores) un aura de mártir, que él y ellos cultivan asiduamente, aunque ningún mártir en el mundo ha sido tan poco perjudicado ni tan ayudado por las denuncias.

Yo antes pensaba que de hecho eran las denuncias científicas las que habían dado el espaldarazo a Velikovsky, y que si el astrónomo norteamericano Harlow Shapley sólo hubiera tenido la sangre fría de ignorar esos disparates, pronto hubieran muerto de muerte natural.

Pero he cambiado de opinión. Ahora tengo más fe en la bolsa sin fondo de credulidad que los seres humanos cargan sobre las espaldas. Piensen, después de todo, en von Däniken y sus astronautas antiguos. Los libros de von Däniken son aún menos sensatos que los de Velikovsky y de redacción mucho más pobre[54], y sin embargo, sale adelante. Más aún, ningún científico, por lo que sé, se ha dignado prestar atención a von Däniken. Tal vez pensaron que hacerlo era darle demasiada importancia y terminaría favoreciéndolo como a Velikovsky.

De modo que von Däniken ha sido ignorado. Pese a todo, tiene aún más éxito que Velikovsky, provoca mayor interés y gana más dinero.

Pueden ver, pues, cómo elijo mis «imposibles». Decido que ciertas herejías son ridículas e indignas de crédito no tanto porque el mundo de la ciencia dice «¡No es así!» sino porque el mundo profano dice «Es así» con mucho entusiasmo. No es que confíe tanto en la infalibilidad de los científicos, sino que confío demasiado en la falibilidad de los profanos.

Admito, de paso, que mi confianza en la infalibilidad de los científicos es bastante frágil. Los científicos muchas veces han cometido errores, algunos flagrantes. Hubo herejes que desafiaron al *establishment* científico y por lo tanto fueron perseguidos (en la medida en que podía perseguirlos el *establishment* científico), y finalmente era el hereje quien estaba en lo cierto. Repito, esto no ha sucedido una vez sino muchas veces.

Pero eso no hace tambalear la confianza con que denuncio las herejías que denuncio, pues en los casos ganados por los herejes el público casi nunca estuvo involucrado.

Cuando se introduce un elemento nuevo en la ciencia, cuando sacude la estructura, cuando al final tiene que ser aceptado, generalmente es algo que entusiasma a los científicos, como es natural, pero no al público en general... salvo quizá cuando se lo convence de que aúlle por la sangre del hereje.

Recordemos, por empezar, a Galileo, ya que es el santo patrono (¡pobre hombre!) de todos los fabuladores que se autocompadecen. Por cierto no fueron ante todo los científicos quienes lo atacaron por sus «errores» científicos sino los teólogos por sus muy reales herejías (demasiado reales según las pautas del siglo diecisiete).

Bien, ¿creen ustedes que el público en general respaldó a Galileo? Claro que no. No hubo declaraciones en su favor. No hubo un gran movimiento que respaldara la idea de que la Tierra giraba alrededor del Sol. No hubo manifestaciones que gritaran «el sol es el centro» y denunciaran a las autoridades acusándolas de una conspiración para ocultar la verdad. Si Galileo hubiera sido quemado en la hoguera, como Giordano Bruno una generación antes, el acto probablemente habría sido aclamado por aquellos sectores del público que siquiera se tomaban el trabajo de enterarse.

---

[53] Una vez un lector me escribió para decirme que el *establishment* científico podía impedir que obtuviera becas, promociones y prestigios, que en una palabra podía destruirle la carrera. Es verdad. Claro que eso no es tan terrible como quemarlo a uno en la hoguera o arrojarlo a un campo de concentración, que es lo que podría hacer y haría un verdadero *establishment,* aunque convengo en que aun privarlo a uno de un cargo es indeseable. Sin embargo, eso sólo funciona si se es científico. De lo contrario, el *establishment* científico no puede hacer más que poner mala cara.

[54] Velikovsky, para hacerle justicia, es un escritor fascinante y posee un aura de rigor científico del que von Däniken carece totalmente.

O consideremos el caso más asombroso de herejía científica desde Galileo, el del naturalista inglés Charles Robert Darwin. Darwin recogió evidencias a favor de la evolución de las especies por selección natural y lo hizo escrupulosa y penosamente durante décadas, luego publicó un libro meticulosamente razonado que establecía el hecho de la evolución de tal manera que ningún biólogo racional puede negarlo[55], aunque se discutan ciertos detalles del mecanismo.

Bien, ¿suponen ustedes que el público en general respaldó a Darwin y su dramática teoría? Por cierto la conocía. Su teoría causó tanto revuelo en su época como Velikovsky un siglo después. Ciertamente era dramática: ¡imaginen especies evolucionando por mutaciones y selecciones azarosas, y seres humanos que descienden de criaturas simiescas! Ninguna de las concepciones soñadas por ningún escritor de ciencia-ficción resultó tan asombrosa como esa para gentes que desde la primera niñez tomaban por verdad incuestionable y absoluta que Dios había creado a todas las especies en pocos días y que el hombre en particular estaba creado a la imagen divina.

¿Suponen que el público en general apoyó a Darwin y demostró entusiasmo por él y lo hizo rico y célebre y denunció al *establishment* científico por atacarlo? Saben que no fue así. Fueron los científicos quienes respaldaron a Darwin.(Son los científicos quienes respaldan a cualquier hereje científico racional).

De hecho, el público en general no sólo estuvo en contra de Darwin entonces, sino que sigue estándolo ahora. Sospecho que si en Estados Unidos se llevara a cabo una votación para decidir si el hombre fue creado inmediatamente del barro o a través de los sutiles mecanismos de la mutación y la selección natural en millones de años, una vasta mayoría votaría por el barro.

Hubo otros casos, menos famosos, en que el público en general no participó del ataque simplemente porque jamás se había enterado de la controversia.

En la década de 1830 el mejor químico viviente era el sueco Jöns Jakob Berzelius. Berzelius tenía una teoría acerca de la estructura de los compuestos orgánicos basada en las evidencias accesibles en la época. El químico francés August Laurent reunió más evidencias que demostraban que la teoría de Berzelius era inadecuada. Él mismo sugirió otra teoría que se acercaba más a la realidad y que esencialmente mantiene su vigencia en la actualidad.

Berzelius, quien ya era viejo y muy conservador, no pudo aceptar la nueva teoría. Reaccionó furiosamente y ninguno de los químicos del momento tuvo agallas para oponerse al gran sueco.

Laurent se mantuvo en sus trece y siguió acumulando evidencias. Lo recompensaron cerrándole las puertas de los laboratorios más famosos y obligándolo a permanecer en provincias. Se supone que contrajo tuberculosis por trabajar en laboratorios mal calefaccionados, y murió en 1853 a los cuarenta y seis años.

Muertos Laurent y Berzelius, la nueva teoría de Laurent empezó a ganar terreno. En efecto. Un químico francés que originalmente había apoyado a Laurent pero le había quitado el respaldo ante el disgusto de Berzelius volvió a aceptarla e incluso trató de hacerla pasar como propia (Los científicos también son humanos).

No es el caso más triste. El físico alemán Julius Robert Mayer, por haber defendido la Ley de Conservación de la Energía en la década de 1840, fue arrastrado a la locura. El físico austriaco Ludwig Boltzmann, por su trabajo en la Teoría Cinética de los Gases a fines del siglo diecinueve, fue arrastrado al suicidio. La tarea de ambos hoy es aceptada y elogiada sin reservas.

¿Pero qué tuvo que ver el público con todos estos casos? Bien, nada. Nunca se enteró. Nunca le importó. Nada de esto se relacionaba con sus grandes preocupaciones. En verdad, si quisiera ser completamente cínico diría que en este caso los herejes tenían razón y que el público, oliéndolo de algún modo, se limitó a bostezar.

Estas cosas también suceden en el siglo veinte. En 1912 un geólogo alemán, Alfred Lothar Wegener, expuso sus conjeturas acerca de la deriva de los continentes. Pensaba que al principio todos los continentes formaban una sola masa de tierra y que la masa, que él llamaba «Pangea», se había fracturado y las diversas partes bogaban a la deriva. Sugirió que la Tierra

---

[55] Por favor no me escriban que hay creacionistas que se autodenominan biólogos. Cualquiera puede autodenominarse biólogo.

flotaba en la roca blanda y semisólida subyacente y que las masas continentales se separaban al flotar.

Lamentablemente, las evidencias parecían sugerir que la roca subyacente era demasiado rígida para que en ella bogaran los continentes y las nociones de Wegener fueron desechadas y aun ridiculizadas. Durante medio siglo las pocas personas que convenían con los conceptos de Wegener tuvieron dificultades para conseguir cargos académicos. Después de la Segunda Guerra Mundial, nuevas técnicas de exploración del fondo del mar descubrieron las grietas terrestres, el fenómeno de la expansión del lecho marino, la existencia de subdivisiones tectónicas, y fue obvio que la corteza terrestre consistía en un grupo de enormes fragmentos que se desplazaban continuamente y que los continentes eran arrastrados con los fragmentos. La deriva de los continentes se transformó en la piedra de toque de la geología.

Presencié personalmente esta transformación. En las dos primeras ediciones de mi **«Guide to Science»** (Basic Books, 1960, 1965), mencioné la deriva de los continentes pero la descarté altivamente en un párrafo. En la tercera edición (1972) le dediqué varias páginas y admití que me había equivocado al descartarla tan pronto (En realidad no tiene nada de vergonzoso. Si se siguen las evidencias uno *tiene* que cambiar de opinión cuando se presentan evidencias nuevas que invalidan las conclusiones anteriores. Quienes no pueden cambiar son los que respaldan ideas por razones emocionales. La evidencia adicional no produce efectos emocionales).

Si Wegener no hubiera sido un verdadero científico pudo haber sido célebre y rico. No tenía más que tomar el concepto de la deriva de los continentes y emplearlo para explicar los milagros bíblicos. La fragmentación de Pangea pudo ser la causa, o la consecuencia, del Diluvio Universal. La formación de la Gran Grieta Africana pudo haber inundado a Sodoma. Los israelitas cruzaron el Mar Rojo porque en esa época no tenía un kilómetro de ancho. Si hubiera dicho todo eso, le habrían quitado el libro de las manos y habría podido vivir de los derechos de autor.

En verdad, si cualquier lector quiere hacer esto ahora, todavía puede hacerse rico. Cualquiera que señale que este artículo fue el inspirador del libro será desoído por la masa de «auténticos creyentes», puedo asegurarlo.

Así que aquí tienen una nueva versión del Corolario de Asimov, que pueden utilizar como guía para decidir en qué creer y qué desechar:

> «Si una herejía científica es ignorada o denunciada por el público en general, es posible que sea acertada. Si una herejía científica es emocionalmente respaldada por el público en general, es casi seguro que es errónea».

Notarán que en mis dos versiones del Corolario de Asimov tuve el cuidado de ser prudente. En la primera digo que los científicos «probablemente estén en lo cierto». En la segunda digo que «es casi seguro que es errónea». No soy absoluto. Tengo en cuenta las excepciones.

No sólo la gente es humana: no sólo los científicos son humanos: yo también soy humano. Quiero que el universo sea como yo quiero que sea, es decir completamente lógico. Quiero que los juicios tontos y emocionales *siempre* sean erróneos.

Lamentablemente, no puedo forzar al Universo a ser como yo quiero, y una de las cosas que hace de mí un ser racional es que lo sé.

A veces se presentan en la historia casos en que la ciencia dijo «No» y el público en general, por razones puramente emocionales, dijo «Sí» y fue el público quien tuvo razón. Lo pensé y se me ocurrió un ejemplo en medio minuto. En 1798 el médico inglés Edward Jenner, guiándose por cuentos de viejas basados en el tipo de evidencia anecdótica que yo desdeño, decidió comprobar si la viruela de la vaca *(cowpox)* inmunizaría a los humanos contra la fatal y temida viruela *(smallpox)* (No se contentó con la evidencia anecdótica: *experimentó*). Jenner descubrió que las viejas tenían razón y descubrió la técnica de la vacunación.

El *establishment* médico de la época reaccionó con recelo. Si hubiera sido por ellos, la vacunación habría sido olvidada.

Sin embargo, la aceptación popular de la vacunación fue inmediata y abrumadora. La técnica se propagó en todas las regiones de Europa. La real familia inglesa fue vacunada; el parlamento británico premió a Jenner con diez mil libras. De hecho, Jenner alcanzó una jerarquía semidivina.

Es fácil ver por qué. La viruela era una enfermedad increíblemente temible, pues si no mataba desfiguraba para siempre. El público en general, por lo tanto, estaba casi histérico por el deseo de que la sugerencia de que la enfermedad pudiera evitarse con un mero pinchazo fuera cierta.

¡Y en este caso el público tuvo razón! El Universo fue como él lo deseaba. En dieciocho meses después de la aplicación de las vacunas, por ejemplo, el número de muertos de viruela en Inglaterra se redujo a un tercio del anterior.

De modo que las excepciones existen. La fantasía popular a veces acierta.

Pero no con frecuencia, y debo advertirles que no pierdo el sueño pensando en la posibilidad de que algunos de los entusiasmos populares de hoy, mañana demuestren ser científicamente correctos. Ni una hora, ni un minuto de sueño.

Índice

Esta edición, de 5.000 ejemplares,
fue compuesta y armada en Linotell,
Humberto Iº 543, Capital Federal,
e impresa y terminada en Talleres Gráficos Carollo,
Avda. Díaz Vélez 3481, Buenos Aires,
en el mes de mayo de 1980.